



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL.  
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL.**

**TEMA**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE COEFICIENTES DE DESCARGA  
HIDRÁULICA EN VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA  
VARIANDO DIMENSIONES MANTENIENDO RELACIÓN ALTURA/BASE.”**

**TUTOR**

**PhD. MARCIAL CALERO AMORES.**

**AUTOR**

**JORMAN MIGUEL TORRES ALBÁN.**

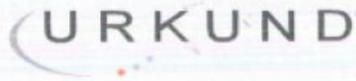
**GUAYAQUIL – 2019.**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> “Análisis comparativo entre coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada variando dimensiones manteniendo relación altura/base.”.	
<b>AUTOR/ES:</b>  Torres Albán Jorman Miguel.	<b>REVISORES O TUTORES:</b>  PhD. Marcial Calero Amores.
<b>INSTITUCIÓN:</b>  <b>Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.</b>	<b>Grado obtenido:</b>  Ingeniero Civil.
<b>FACULTAD:</b>  INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.	<b>CARRERA:</b>  INGENIERÍA CIVIL.
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>  2019.	<b>N. DE PAGES:</b>  149.
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN.	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> CANAL, VERTEDERO, COEFICIENTE, CAUDAL.	

<b>RESUMEN:</b>		
<p>El proyecto tiene como finalidad, dar a conocer las variaciones que pueden presentarse en las prácticas de laboratorio realizadas en un canal hidráulico con un vertedero trapezoidal de pared delgada referente a los coeficientes de descarga hidráulica, haciendo variación en el ángulo de inclinación geométrica de la abertura de paso del vertedero cada 5°, iniciando desde los 40° hasta llegar a los 15°.</p>		
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  Torres Albán Jorman Miguel.	<b>Teléfono:</b>  099-213-1632	<b>E-mail:</b>  jormantorres1994@hotmail.com
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	MSC. Alex Salvatierra Espinoza, DECANO, DIRECTOR DE CARRERA  <b>Teléfono:</b> 2596500 <b>Ext.</b> 241 DECANATO  <b>E-mail:</b> asalvatierrae@ulvr.edu.ec	

## CERTIFICADO DE SIMILITUDES



### Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Jorman Torres Albán.docx (D46935351)  
Submitted: 1/17/2019 10:47:00 PM  
Submitted By: ibetancourt@ulvr.edu.ec  
Significance: 1 %

#### Sources included in the report:

Proyecto\_de\_titulacion\_Guaman\_Sanchez.docx (D34588459)  
CUERPO.docx (D42646937)  
CADENA LEMA MARIA FERNANDA - ELABORACION Y CALIBRACION DE VERTEDEROS DE CRESTA DELGADA.pdf (D29624107)  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/1615/1/Alexis%20Fernando%20Garc%C3%ADa%20V%C3%A1squez.pdf>

#### Instances where selected sources appear:

6

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jorman Torres Albán".

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El estudiante egresado **JORMAN MIGUEL TORRES ALBÁN**, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, “Análisis comparativo entre coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada variando dimensiones manteniendo relación altura/base.”, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la **UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**, según lo establece la normativa vigente.

**Autor(es)**

Firma:



**JORMAN MIGUEL TORRES ALBÁN**

**C.I.: 1207913995**

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

**En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “Análisis comparativo entre coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada variando dimensiones manteniendo relación altura/base.”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.**

### **CERTIFICO:**

**Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “Análisis comparativo entre coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada variando dimensiones manteniendo relación altura/base.”, presentado por el estudiante JORMAN MIGUEL TORRES ALBÁN como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.**

**Firma:**



**PhD. MARCIAL CALERO AMORES**

**C.I.: 0905197569**

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento que tengo en mente es a Dios por bendecir cada día mi vida, enseñándome que siempre que me encuentre en problemas, él será mi pronto socorro, más que todo porque en nuestra debilidad, él se fortalece.

## **DEDICATORIA**

Sin su ayuda éste gran paso no podría ser alcanzado, a pesar de las dificultades, sacrificios, éxitos y fracasos, sin ustedes no lo lograría; dedico el actual proyecto de titulación con mucho cariño a mis padres, Esthela Violeta Albán García y Miguel Ángel Torres Coronel, gracias por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL.

ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xi
ÍNDICE DE CURVAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
GLOSARIO.....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
1.1. Tema.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Formulación del Problema.....	3
1.4. Sistematización del Problema.....	3
1.5. Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Justificación de la Investigación.....	4
1.7. Delimitación de la Investigación.....	5
1.8. Hipótesis de la Investigación.....	6
1.8.1. Variable Independiente.....	6
1.8.2. Variable Dependiente.....	6
<b>2. CAPITULO II.....</b>	<b>7</b>
2.1. Marco teórico conceptual.....	7
2.1.1. Antecedentes.....	7
2.1.2. Datos Generales.....	9
2.1.2.1. Canales.....	9
2.1.2.2. Vertedero.....	10
2.1.2.2.1. Vertedero Trapezoidal.....	11
2.2. Marco Teórico Referencial.....	14
2.3. Marco Metodológico.....	17
2.3.1. Tipos de Investigación.....	17

2.3.1.1.	Enfoque de la Investigación. ....	18
2.3.1.2.	Técnicas de la Investigación. ....	18
2.3.2.	Sistema electrónico. ....	19
2.3.3.	Actividades previas para el desarrollo de la investigación. ....	19
2.3.4.	Recursos Utilizados para los Ensayos de Laboratorio. ....	20
2.3.5.	HYDROTECH. ....	21
2.3.6.	Pasos a seguir para la obtención de resultados dentro del programa "HYDROTECH". ....	22
2.3.7.	Observaciones en toma de datos. ....	22
3.	<b>CAPITULO III</b> .....	24
3.1.	Diseño de los vertederos trapezoidales. ....	24
3.2.	Tabla y formulario utilizado para el procesamiento de datos. ....	25
3.3.	Resumen y desglose de resultados. ....	28
3.1.1.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura 40°. ....	33
3.1.1.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	34
3.1.1.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	36
3.1.1.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	38
3.1.1.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	40
3.1.1.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	42
3.1.1.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	44
3.1.1.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 40°. ....	46
3.1.2.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 35°. ....	47
3.1.2.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	47
3.1.2.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	49
3.1.2.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	51
3.1.2.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	53
3.1.2.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	55
3.1.2.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	57
3.1.2.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 35°. ....	59
3.1.3.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 30°. ....	60
3.1.3.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	60
3.1.3.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	62

3.1.3.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	64
3.1.3.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	66
3.1.3.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	68
3.1.3.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	70
3.1.3.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 30°. 72	
3.1.4.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 25°. ....	73
3.1.4.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	73
3.1.4.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	75
3.1.4.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	77
3.1.4.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	79
3.1.4.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	81
3.1.4.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	83
3.1.4.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 25°. 85	
3.1.5.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 20°. ....	86
3.1.5.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	86
3.1.5.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	88
3.1.5.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	90
3.1.5.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	92
3.1.5.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	94
3.1.5.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	96
3.1.5.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 20°. 98	
3.1.6.	Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 15°. ....	99
3.1.6.1.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm. ....	99
3.1.6.2.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm. ....	101
3.1.6.3.	Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm. ....	103
3.1.6.4.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm. ....	105
3.1.6.5.	Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm. ....	107
3.1.6.6.	Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm. ....	109
3.1.6.7.	Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 15°. 111	
4.	<b>CAPITULO IV</b> .....	112

4.1.	Alternativa obtenida. ....	112
4.2.	Alcance de la propuesta.....	112
4.3.	Resultados. ....	113
4.4.	Conclusiones. ....	115
4.5.	Recomendaciones.....	116
	Referencias Bibliográficas. ....	117
5.	<b>ANEXOS</b> .....	119

### **ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1.-	Variables de diseño de los vertederos trapezoidales. ....	24
Tabla 2.-	Muestra de tabla de cálculo. ....	25
Tabla 3.-	Resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio. ....	28

### **ÍNDICE DE IMÁGENES.**

Imagen 1.-	Canal utilizado en las prácticas de laboratorio .....	9
Imagen 2.-	Tipos de vertederos.....	11
Imagen 3.-	Vertedero trapezoidal cipolletti. ....	12
Imagen 4.-	Vertedero trapezoidal - dimensiones. ....	13
Imagen 5.-	Canal de moeris, egipto. ....	14
Imagen 6.-	Render del vertedero trapezoidal ubicado en el laboratorio de hidráulica. ....	20
Imagen 7.-	Diseño de vertedero con variables.....	24

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	34
Gráfico 2.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	34
Gráfico 3.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm. ....	35
Gráfico 4.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ....	35
Gráfico 5.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	36
Gráfico 6.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	36
Gráfico 7.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm. ....	37
Gráfico 8.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	37
Gráfico 9.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	38
Gráfico 10.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	38
Gráfico 11.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm. ....	39
Gráfico 12.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	39
Gráfico 13.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	40
Gráfico 14.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	40
Gráfico 15.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm. ....	41
Gráfico 16.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	41
Gráfico 17.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	42
Gráfico 18.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	42
Gráfico 19.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm. ....	43
Gráfico 20.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	43
Gráfico 21.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	44

Gráfico 22.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	44
Gráfico 23.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.....	45
Gráfico 24.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm. ....	45
Gráfico 25.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 40° .....	46
Gráfico 26.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 40° .....	46
Gráfico 27.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	47
Gráfico 28.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	47
Gráfico 29.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.....	48
Gráfico 30.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ....	48
Gráfico 31.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	49
Gráfico 32.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	49
Gráfico 33.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.....	50
Gráfico 34.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	50
Gráfico 35.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	51
Gráfico 36.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	51
Gráfico 37.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.....	52
Gráfico 38.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	52
Gráfico 39.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	53
Gráfico 40.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm .....	53
Gráfico 41.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.....	54
Gráfico 42.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	54

Gráfico 43.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	55
Gráfico 44.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	55
Gráfico 45.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm. ....	56
Gráfico 46.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	56
Gráfico 47.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	57
Gráfico 48.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	57
Gráfico 49.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm. ....	58
Gráfico 50.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm. ....	58
Gráfico 51.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 35° .....	59
Gráfico 52.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 35° .....	59
Gráfico 53.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	60
Gráfico 54.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	60
Gráfico 55.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm. ....	61
Gráfico 56.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ....	61
Gráfico 57.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	62
Gráfico 58.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	62
Gráfico 59.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm. ....	63
Gráfico 60.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	63
Gráfico 61.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	64
Gráfico 62.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	64
Gráfico 63.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm. ....	65

Gráfico 64.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	65
Gráfico 65.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	66
Gráfico 66.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	66
Gráfico 67.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm. ....	67
Gráfico 68.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	67
Gráfico 69.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	68
Gráfico 70.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	68
Gráfico 71.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm. ....	69
Gráfico 72.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	69
Gráfico 73.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	70
Gráfico 74.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	70
Gráfico 75.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm. ....	71
Gráfico 76.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm. ....	71
Gráfico 77.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 30° .....	72
Gráfico 78.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 30° .....	72
Gráfico 79.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	73
Gráfico 80.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	73
Gráfico 81.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm. ....	74
Gráfico 82.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ....	74
Gráfico 83.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	75
Gráfico 84.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	75

Gráfico 85.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.....	76
Gráfico 86.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	76
Gráfico 87.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	77
Gráfico 88.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	77
Gráfico 89.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.....	78
Gráfico 90.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	78
Gráfico 91.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	79
Gráfico 92.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	79
Gráfico 93.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.....	80
Gráfico 94.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	80
Gráfico 95.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	81
Gráfico 96.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	81
Gráfico 97.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.....	82
Gráfico 98.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	82
Gráfico 99.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	83
Gráfico 100.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	83
Gráfico 101.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm....	84
Gráfico 102.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm. ....	84
Gráfico 103.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 25° .....	85
Gráfico 104.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 25° .....	85
Gráfico 105.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	86

Gráfico 106.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	86
Gráfico 107.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm....	87
Gráfico 108.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ....	87
Gráfico 109.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	88
Gráfico 110.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	88
Gráfico 111.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm....	89
Gráfico 112.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	89
Gráfico 113.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	90
Gráfico 114.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	90
Gráfico 115.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm....	91
Gráfico 116.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	91
Gráfico 117.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	92
Gráfico 118.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	92
Gráfico 119.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm....	93
Gráfico 120.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	93
Gráfico 121.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	94
Gráfico 122.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	94
Gráfico 123.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm....	95
Gráfico 124.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	95
Gráfico 125.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	96
Gráfico 126.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	96

Gráfico 127.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	97
Gráfico 128.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	97
Gráfico 129.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 20° .....	98
Gráfico 130.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 20° .....	98
Gráfico 131.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	99
Gráfico 132.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm. ....	99
Gráfico 133.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm..	100
Gráfico 134.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm. ...	100
Gráfico 135.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	101
Gráfico 136.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm. ....	101
Gráfico 137.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm..	102
Gráfico 138.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm. ....	102
Gráfico 139.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	103
Gráfico 140.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm. ....	103
Gráfico 141.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm..	104
Gráfico 142.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm. ....	104
Gráfico 143.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	105
Gráfico 144.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm. ....	105
Gráfico 145.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm..	106
Gráfico 146.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm. ....	106
Gráfico 147.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	107

Gráfico 148.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm. ....	107
Gráfico 149.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm..	108
Gráfico 150.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm. ....	108
Gráfico 151.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	109
Gráfico 152.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm. ....	109
Gráfico 153.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm..	110
Gráfico 154.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm. ....	110
Gráfico 155.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 15° .....	111
Gráfico 156.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 15° .....	111
Gráfico 157.- Comparación entre coeficientes de descarga hidráulica.....	113

### ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1: Hipervínculo que contiene el programa HIDROTECH en lenguaje c++ con el código de programación instalado en la plataforma arduino.....	119
Anexo 2: Plano electrónico del sistema HIDROTECH. ....	119
Anexo 3: Canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.....	120
Anexo 4: Instalación de sensores del sistema HIDROTECH. ....	120
Anexo 5: Nivelación y calibración del canal hidráulico. ....	121
Anexo 6: Prueba de calibración de los sensores del sistema HYDROTECH.....	123
Anexo 7: Resultados de prueba de calibración del sistema HYDROTECH. ....	124
Anexo 8: Ejecución de prácticas de laboratorio. ....	125
Anexo 9: Hardware del sistema HYDROTECH. ....	126

## GLOSARIO.

### C

**Calado.-** Es la distancia vertical del agua en una sección transversal desde el fondo hasta la superficie.

**Caudal.-** Es el volumen de fluido que transita a través de una sección de ducto, ya sean tuberías, cañerías, oleoductos, ríos, canales, etc sobre la unidad de tiempo. También suele llamarse como gasto

**Caudalímetro.-** Es el instrumento utilizado para la medición del caudal o del gasto volumétrico de un fluido. El caudalímetro se coloca en línea con la tubería que traslada el líquido.

**Coefficiente de descarga.-** Factor adimensional característico que permite calcular el caudal (Q) en función del nivel del fluido en el embalse o reserva ( h).

### E

**Escurrimiento.-** Se refiere al volumen de agua proveniente de las montañas a causa de las precipitaciones, las cuales caen sobre una cuenca, menos la infiltración y la retención superficial.

### F

**Fluido.-** Es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases.

### H

**h/b.-** Altura de calado sobre el vertedero/ancho de base del vertedero.

## V

**Vertedero.-** Es la estructura hidráulica que tiene como finalidad permitir el paso de agua a los escurrimientos superficiales.

**Vertedero Trapezoidal.-** Es un vertedero que en su abertura de paso, cuenta con una geometría trapezoidal.

## **RESUMEN.**

El proyecto tiene como finalidad, dar a conocer las variaciones que pueden presentarse en las prácticas de laboratorio realizadas en un canal hidráulico con un vertedero trapezoidal de pared delgada referente a los coeficientes de descarga hidráulica, haciendo variación en el ángulo de inclinación geométrica de la abertura de paso del vertedero cada 5°, iniciando desde los 40° hasta llegar a los 15° y, por medio de la metodología a aplicarse y modelaciones experimentales, se calculará la relación que involucran los caudales reales, teóricos y, al mismo tiempo, se busca facilitar la ejecución de las prácticas de laboratorio al implementar un sistema electrónico experimental, mediante el cual automatizará el proceso de toma de resultados, y a su vez ofrecerá precisión en cada una de las prácticas que se emplearán para dicho estudio. Una vez obtenidos los datos, se elaborarán curvas que permitirán observar la variación de los coeficientes de descarga hidráulica; siendo este un aporte a la comunidad científica por su contenido investigativo experimental.

**Palabras clave:** Canal, vertedero, coeficiente, caudal.

## **ABSTRACT.**

The purpose of the present project is to make known the variations that can be made in the laboratory practices in a hydraulic channel with a trapezoidal weir in the index of the hydraulic, in the angle of geometric inclination of the passage opening of the landfill each 5th, starting from 40° until reaching 15° and, at the same time, at the same time, the relation will look for the execution of laboratory practices, the implementation of an experimental electronic system, the automation of the process of taking results, the precision in each of the practices used for said study. Once the data was prepared. This being a contribution to the scientific community for its experimental research content.

**Keywords:** Channel, landfill, coefficient, flow.

## **INTRODUCCIÓN.**

Algunas de las estructuras hidráulicas existentes en ésta rama de la ingeniería, sirven para realizar aforos o mediciones de caudal en cauces, ya sean estos naturales o contruidos por la mano del hombre; los vertederos son considerados como una de las estructuras más importantes en función de controlar los caudales en ríos y canales abiertos.

El problema principal que surge al momento de diseñar un vertedero es definir el diseño del mismo, ya que existen vertederos de muchos tipos y los cuales tienen diferentes usos, pero el de mayor dificultad de construcción es el vertedero trapezoidal debido a su forma geométrica.

Es conocido que, matemáticamente hablando, la multiplicación de dos factores sin importar su orden, tendrá como resultado el mismo producto, aplicando ese mismo concepto en el diseño geométrico de un vertedero trapezoidal, el área de apertura hidráulica se verá afectada si la base y altura del mismo son intercambiadas.

# 1. CAPITULO I

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Tema.

“Análisis comparativo entre coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada variando dimensiones manteniendo relación altura/base”

### 1.2. Planteamiento del Problema.

En la agronomía, el conocimiento del volumen de agua disponible es de fundamental importancia para calcular los porcentajes de irrigación de cada uno de los diferentes cultivos, para esto se utilizan diques, canales o represas con el fin de almacenar el líquido vital, pero cuando dicho volumen sobrepasa la capacidad de almacenamiento, la estructura hidráulica tenderá a fallar por sobrecarga, para ello se necesita de un elemento que permita el flujo controlado del agua. Uno de los dispositivos más empleados, pero de investigación casi nula es el vertedero trapezoidal, cuyo coeficiente de descarga hidráulica varía en función del diseño geométrico del vertedero trapezoidal, por lo tanto el presente proyecto de investigación está destinado a enfocarse en determinar referencialmente los coeficientes de descarga hidráulica variando las dimensiones geométricas del vertedero trapezoidal con el fin de contribuir con información a la comunidad científica.

El caudal real de un vertedero trapezoidal puede ser calculado mediante la ecuación universal de continuidad, midiendo las variables geométricas que el vertedero tiene, ya sean estas la longitud de su base, el ángulo de apertura y el nivel o cota de la carga hidráulica aplicada al mismo, los cuales determinará su área y, posteriormente se calculará la velocidad cinemática del flujo con el fin de multiplicarlo con el área y así determinar su caudal o gasto real. Si se plantea obtener el caudal hidráulico mediante otras fórmulas matemáticas cuyos resultados se derivan en un caudal teórico, es necesario multiplicar el caudal teórico con un

coeficiente de descarga hidráulica, para eso es necesario realizar prácticas de laboratorio con el fin de determinar el mismo.

Ya en el laboratorio, es necesario realizar una nube de puntos, para lo cual es preciso realizar 96 prácticas (noventa y seis) para poder generar varias curvas referenciales determinando las variantes anteriormente mencionadas, cabe recalcar que por cada variación geométrica efectuada en el vertedero, se conseguirá un coeficiente de descarga distinto y, por la complejidad del caso, es necesario integrar un sistema electrónico, el cual permita verificar y comprobar las distintas variaciones hidráulicas causadas por las alteraciones geométricas que se le realicen al vertedero, garantizando así resultados óptimos.

Los vertederos trapezoidales tendrán variaciones en sus dimensiones geométricas tanto en el ángulo de apertura; modificándolo cada  $5^\circ$ , iniciando desde los  $40^\circ$  hasta finalizar en los  $15^\circ$  y, sus bases trapezoidales irán aumentando su longitud en un rango de 2 centímetros, iniciando desde los 2 centímetros hasta finalizar en 8 centímetros; ya hidráulicamente hablando, se irá aumentando la carga sobre el vertedero ( $h$ ) en un rango de 2 centímetros, iniciando desde los 2 centímetros hasta finalizar en 8 centímetros, todo esto con el fin de mantener la relación altura/base ( $h/b$ ).

### **1.3. Formulación del Problema.**

- ¿Cómo podría afectar los diferentes coeficientes de descarga hidráulica al caudal real con los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio?

### **1.4. Sistematización del Problema.**

- ¿Qué diferencias se obtendrán al momento de comparar las relaciones  $h/b$  en los vertederos?
- ¿Cómo afectaría el cambio de los ángulos a los coeficientes de descarga?
- ¿Qué efecto tendría la relación geométrica?

- ¿ Que tan dispersos serán los datos del experimento al formar una nube de puntos?

## **1.5. Objetivos de la investigación.**

### **1.5.1. Objetivo General.**

Evaluar comparativamente los coeficientes de descarga mediante las variables dimensionales del vertedero trapezoidal para conocer su comportamiento hidráulico, variando sus dimensiones manteniendo la relación altura/base.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Obtener datos de las diferentes ensayos de laboratorio variando las dimensiones geométricas del vertedero sin afectar la relación h/b.
- Crear graficos de coeficientes de descarga hidráulica para vertederos trapezoidales de pared delgada mediante prácticas de laboratorio.
- Analizar los coeficientes de descarga hidráulica respecto a las variables geométricas del vertedero.

## **1.6. Justificación de la Investigación.**

Éste proyecto investigativo se pretende fomentar la investigación y el análisis experimental enfocados en una herramienta que aporte a la ciencia y al eficaz desenvolvimiento de futuras promociones, aportando con conclusiones sobre el análisis de resultados mediante la comparación de los diferentes coeficientes de descarga hidráulica obtenidos en laboratorio, con las investigaciones realizadas por el Italiano Cesare Cipolletti, quien estudió el comportamiento hidráulico de los vertederos trapezoidales para casos muy específicos.

La Ingeniería Hidráulica es una de las disciplinas que posee la Ingeniería Civil y su alcance está dado en el estudio, diseño, y construcción de obras relacionadas con el flujo agua; que es un elemento vital y de gran importancia en la existencia de los seres vivos, por lo que es necesario optimizar con eficacia el funcionamiento y operación de todas aquellas obras hidráulicas que se vinculen con este tan indispensable elemento.

Una vez que los resultados obtenidos sean comparados, el fin de la investigación es aportar los conocimientos adquiridos a la comunidad científica especializada en hidráulica, aulas de clase, comunidad agrícola, entre otras.

### **1.7. Delimitación de la Investigación.**

El canal hidráulico de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (FIIC) en el cual se desarrolló el trabajo, tiene las siguientes características:

<b>Caudal máximo:</b>	12.00 litros/segundo.
<b>Calado máximo:</b>	0.33 m.
<b>Volumen máximo de agua:</b>	1000 litros.
<b>Ancho máximo del canal:</b>	0.25 m.
<b>Longitud máxima del canal:</b>	6.00 m.

Debido a las limitantes anteriormente mencionadas, se consideró óptimo ejecutar los ensayos de laboratorio utilizando ángulos de apertura en un rango de 40° y 15°, bases en un rango de 2 a 8 centímetros, con respecto a la geometría del vertedero trapezoidal.

## **1.8. Hipótesis de la Investigación.**

Si al realizar variaciones en los parámetros geométricos del vertedero trapezoidal, éstos afectarán directamente a los coeficientes de descarga hidráulica debido a que el flujo se comportará de manera diferente.

### **1.8.1. Variable Independiente.**

La relación altura/base.

### **1.8.2. Variable Dependiente.**

Los coeficientes de descarga hidráulica en vertederos trapezoidales de pared delgada.

## **2. CAPITULO II**

### **DEFINICIÓN TEÓRICA.**

#### **2.1. Marco teórico conceptual.**

##### **2.1.1. Antecedentes.**

La modelación es un campo que en ocasiones se torna complejo en su estudio, por cuanto consiste en obtener una representación de forma y comportamiento, en la cual se debe llevar la estructura prototipo a un modelo físico reducido, caso que no es imposible de lograr pero si muy complejo; por lo que se hace respaldo en el método de análisis por medio continuo, el cual consiste en asimilar al elemento en estudio como un cuerpo sin componentes moleculares; dicha hipótesis que es de gran ayuda en el análisis.

Además se ha determinado la aplicación de métodos Experimentales-Estadísticos para la integración de los valores obtenidos en el ensayo con los modelos hidráulicos reducidos.

Ven Te Chow destaca que:

“El gasto de un vertedero trapezoidal se puede calcular suponiendo la suma de un gasto correspondiente a uno rectangular con longitud de cresta  $b$  y uno triangular formado por las dos orillas”. (Chow, 2004)

En la recopilación de información se encontró que, Cipolletti determinó un coeficiente de descarga hidráulica de 0.63 y lo utiliza prediciendo dicho comportamiento en un vertedero diseñado por él, con el cual compensa el decrecimiento del caudal causado por las contracciones de las paredes, bajo la experiencia obtenida es determinante decir que, cada obra tiene sus propios factores que restringen su diseño, por lo que es poco probable que se pueda siempre utilizar las mismas condiciones de diseño, en este caso geométricas, pero en realidad también podemos recurrir a que la Ingeniería Hidráulica es netamente experimental, por lo que no se menospreciará los logros obtenidos por el mentado autor, pero se expresará un punto de vista posterior a un estricto análisis, el cual consiste en poder establecer un

coeficiente de descarga que responda a la variable simétrica de la inclinación de las paredes laterales de un vertedero, considerando que la sección de éste no es compuesta. (Bergadá Graño, 2011)

En los procedimientos de la investigación **experimental y análisis** de parámetros estadísticos, los beneficios obtenidos serán de gran aportación para determinar:

**Cd** (coeficiente de descarga hidráulica) en función de la pendiente de los taludes o inclinación de paredes laterales, en la variación de la base y en el calado aplicado sobre la sección geométrica trapezoidal del vertedero.

**Qt** (Caudal teórico) en función del calado aplicado sobre la base de la sección geométrica trapezoidal del vertedero.

**Qr** (Caudal real) en función del área trapezoidal y de la velocidad del fluido que soporta el vertedero.

Por la similitud hidráulica, el cual consiste en:

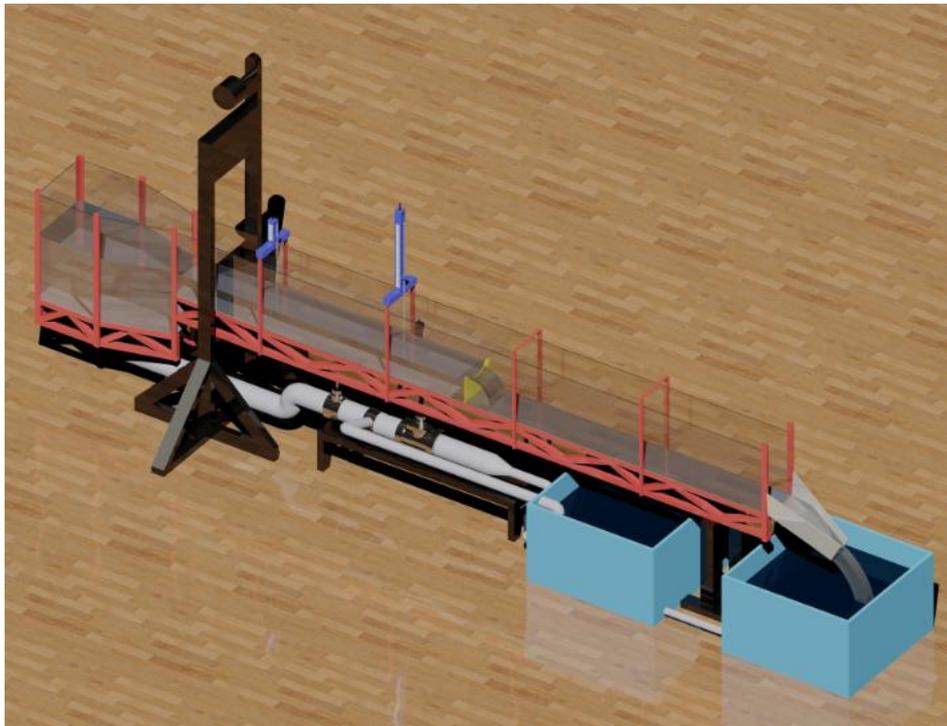
Admitir que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno, se pueden aplicar en otro fenómeno; por tanto, el estudio del comportamiento de los vertederos hidráulicos que ocurren en un modelo se pueden obtener conclusiones aplicables a vertederos hidráulicos de escala real.

Siendo el objeto del análisis un fluido, en este caso agua, es necesario conocer su comportamiento mediante conceptos, hipótesis o parámetros que den como resultado conclusiones que permitan un mayor conocimiento, fortaleciendo las bases teóricas que sostendrán el presente proyecto investigativo.

## **2.1.2. Datos Generales.**

### **2.1.2.1. Canales.**

En ingeniería hidráulica, se le llama canal a una construcción que está predestinada al transporte de todo tipo de líquidos, generalmente utilizada para transportar agua. Mediante el actual proyecto de investigación, se hará uso de un canal abierto, se lo clasifica así ya que este canal permite que la superficie del líquido tenga libre contacto con la atmósfera; su sección geométrica es rectangular, las paredes están conformadas de vidrio y la solera de placas de acero.

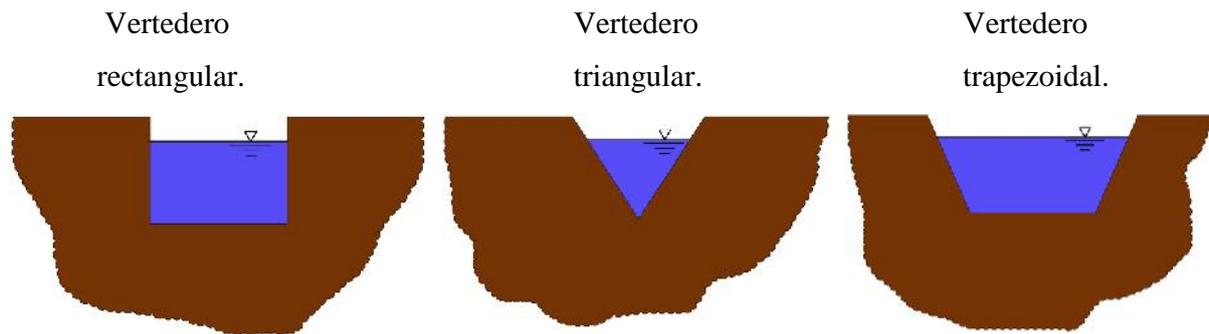


**Imagen 1.- Canal utilizado en las prácticas de laboratorio**  
**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

### **2.1.2.2. Vertedero.**

Es la estructura hidráulica que soporta el trayecto tanto libre como controlado de agua en los escurrimientos superficiales, además que también son utilizados en la medición de caudal en pequeñas riveras y canales, es por ésta razón que su estudio es de gran importancia, los vertederos se clasifican en base a diversos aspectos, como por ejemplo:

- **Según el espesor de pared.**
  - Vertederos hidráulicos de pared delgada, también destacados como vertederos de pared aguda o cresta delgada, son construidos con materiales de pequeño espesor o que tienen un acabado biselado, en éste caso, el extremo agudo debe estar en el sentido aguas arriba del vertedero para que fluya libremente teniendo el menor contacto posible.
  - Vertederos hidráulicos de pared gruesa, son importantemente utilizados para controlar los calados en los ríos o canales, pero que también pueden ser usados como elementos estructurales que midan caudal.
  
- **Diseño geométrico de apertura.**
  - Los vertederos pueden ser diseñados de las más variadas formas y medidas geométricas, cuyo comportamiento será directamente afectado por éste importante parámetro, los diseños más utilizados son:



**Imagen 2.- Tipos de Vertederos**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

Dentro de las observaciones que se ejecutará en el presente proyecto de investigación, se hará uso de un **vertedero trapezoidal de pared delgada**.

#### **2.1.2.2.1. Vertedero Trapezoidal.**

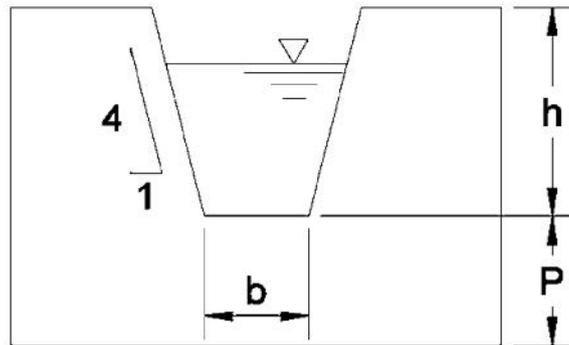
Es un vertedero hidráulico de geometría trapezoidal en su abertura donde el fluido hidráulico circula, también existen vertederos trapezoidales conocidos como “vertedero trapezoidal Cipolletti” en honor al Ingeniero Cesare Cipolletti, el cual fue quién investigó profundamente a éste tipo de vertederos, quién procuró diseñar un vertedero ideal que contrarrestara el decrecimiento del caudal debido a las contracciones laterales de la geometría rectangular por medio de la integración de partes geométricas triangulares, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos.

Para calcular el caudal generado por el vertedero trapezoidal Cipolletti se utiliza la fórmula de James Francis, dando como resultado en la unidad de metros cúbicos sobre segundo:

$$Q = 1,8 \quad h^{3/2}$$

Se debe considerar que la ecuación anterior resulta válida si:

- El talud de la sección trapezoidal es 1:4, es decir, 1 unidad horizontal sobre 4 unidades verticales.
- La carga sobre el vertedero debe ser mayor a 6cm.
- La carga sobre el vertedero debe ser menor que  $b/3$ , según Sotelo. **(Benito Segura, 2015)**

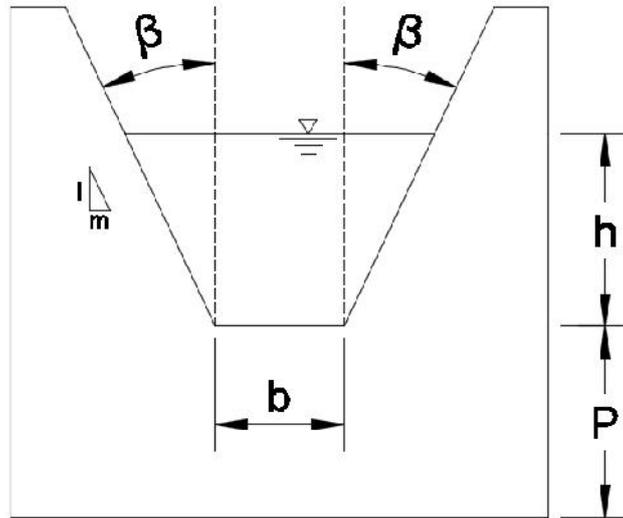


**Imagen 3.- Vertedero Trapezoidal Cipolletti.**

*Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)*

Las dimensiones geométricas de un vertedero son propiedades que se pueden determinar completamente por la geometría de la sección y también por la profundidad del canal. Estos elementos son muy significativos para el cálculo del caudal.

La mayoría de autores consultados coinciden en que, cada una de las paredes laterales con su pendiente respectiva deben calcularse de tal manera que, el gasto que produzcan ellas sea igual a la dimensión del caudal a causa de las contracciones de un vertedero rectangular, más el gasto de un vertedero triangular, utilizando la siguiente ecuación:



**Imagen 4.- Vertedero trapezoidal - Dimensiones.**  
**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

$$Q_r = \frac{8}{1} \sqrt{2} * C * [t; \beta] * h^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} \sqrt{2} * C * b h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

**Qr:** Caudal real.

**Cd1:** Coeficiente de descarga hidráulica para el vertedero rectangular con contracciones.

**Cd2:** Coeficiente de descarga hidráulica para el vertedero triangular.

**L:** Longitud de base.

**β:** Ángulo de inclinación de las paredes del vertedero con respecto a la vertical.

**g:** Aceleración de la gravedad.

**h:** Carga hidráulica sobre el vertedero.

**P:** Altura al umbral del vertedero.

## 2.2. Marco Teórico Referencial.

El uso de canales viene dado desde hace varios milenios en diferentes funciones como por ejemplo: para el transporte de agua, se construían canales sobre acueductos en la Roma Imperial, en Mesopotamia como canales de riego.

El conocimiento y estudio sistemático de los canales se remonta al siglo XVIII, con Chézy, Bazin y otros, podemos encontrar gran variedad de obras hidráulicas, procedentes de diversas épocas históricas, en numerosas partes del mundo, entre ellas tenemos:

- **ANTIGUO EGIPTO.-** Sin duda alguna los egipcios fueron los primeros en utilizar canales para fertilizar sus tierras con las aguas del Río Nilo, Unos suponen que la mayor parte de los canales de este río fueron canales abiertos por la mano del hombre.

El mayor canal hidráulico construido en Egipto fue el que Moeris ordenó construir para conducir las aguas del Nilo al gran lago que había encargado hacer. Se cree que este canal hidráulico tenía ochenta estadios de largo (16.093,47 metros) y trescientos pies de ancho (91.44 metros.), cuyo ingreso conseguía abrirse y cerrarse según convenía.



**Imagen 5.- Canal de Moeris, Egipto.**

**Fuente: Libro de Estudio Teórico de Estructuras Hidráulicas.**

**Autor: Carmen Frutos Caravaca.**

Dentro de este tema de tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil, se hará referencia a varias citas hidráulicas hechas por varios eruditos en el tema.

El actual proyecto de titulación, se establece en observar, interpretar y representar el comportamiento de un flujo que en este caso es un líquido tomando en referencia a lo que dice (De la Heras, 2012, pág. 17) que: “De acuerdo con el aspecto físico que tiene la naturaleza, la materia se puede clasificar en tres estados: sólido, líquido y gaseoso, de los cuales los dos últimos se conocen como fluidos”. Y esto mismo es lo que se pretende analizar en este tema.

### **Mecánica de Fluidos**

Solo hay cuatro dimensiones primarias en la mecánica de fluidos, de ellas se derivan las otras que son masa, longitud, tiempo y temperatura.

Las propiedades más interesantes de los fluidos que se usarán dentro de las prácticas realizadas para la obtención de datos en la presente investigación son:

- 1) **La isotropía**, por cuanto contiene igualdad de propiedades en todos sus vectores.
- 2) **La movilidad**, por cuanto no tienen forma propia, se adaptan a la forma del recipiente que los contienen; a un esfuerzo mínimo que corresponde una deformación infinitamente grande.
- 3) **La viscosidad**, que no alcanza las leyes de fricción entre sólidos ya que establece una resistencia a la deformación, estableciendo las tensiones proporcionales en forma cercana, a otras velocidades de las deformaciones; esta ley fue formulada por Isaac Newton, que mostró que, en el momento que las capas de un líquido fluyen entre sí, la resistencia al movimiento depende del gradiente de la velocidad  $dv/dx$ , y de la superficie,  $F = \eta s dv dx$  Siendo  $\eta$  la constante de proporcionalidad; por lo tanto, no va variando bruscamente la velocidad sino progresivamente de capa en capa. Al ser nula la velocidad relativa de desplazamiento, la tensión también viene a ser igual.
- 4) **La compresibilidad**, que se considera cualquier esfuerzo al que es sometido el fluido del agua, en el que su volumen prácticamente no tiene ninguna variación.

“Así, para el caso del agua, por cada  $kg/cm^2$  que aumente su presión, se comprime 1/20.000 de su volumen. Para los fluidos compresibles, el volumen específico será

función de la presión y de la temperatura, siendo complicadas las expresiones que ligan estas variables.” (Díez, 2007).

Mediante estas propiedades se puede clasificar las implicaciones que tengan los fluidos cuando se encuentren en movimiento.

Podemos tomar en cuenta a (Giles, 2013) que dijo que: “Los flujos de fluidos puede ser permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento; unidimensional, bidimensional o tridimensional, y rotacional o irrotacional”.

Mediante los conceptos antes expuestos se puede determinar que en este análisis experimental se aprecia un flujo uniforme ya que no hay variación en ninguna de las secciones del canal donde se está realizando la práctica de laboratorio.

#### **Definición de vertederos trapezoidales.**

“El vertedero ha sido definido como “una abertura de contorno abierto, practicada en la pared de un depósito, o bien en una barrera colocada en un canal o río, y por la cual escurre o rebasa el líquido contenido en el depósito, o que circula por el río o canal”. (Rocha, 2007)

Así mismo, (Rocha, 2007) cita a Balloffet e indica que “el vertedero muchas veces asemeja a una sección en la que hiciera falta algo para completarla por su correcta uniformidad, pero esta se da para que el deposito que está detrás sea descargado correctamente por rebose y así pueda seguir aguas abajo.”

#### **Definición de vertederos de pared delgada.**

“El vertedero de pared delgada no sólo es un aparato de medición para el flujo en canales abiertos, sino también la forma más simple de vertederos de rebose. Las características del flujo por encima de un vertedero se reconocieron hace tiempo en hidráulica como la base en diseño del vertedero de rebose de pared redondeada”. (Hidráulica de canales abiertos – Ven Te Chow, 2008, pág. 352).

Ven Te Chow da a conocer que las principales características de un vertedero de pared delgada puede servir como aforador y como una estructura de rebose; cumpliendo las dos

funciones y planteando en una gran estructura, puede servir de gran aporte para obtener información y lograr evitar inundaciones.

“Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero; esto puede presentar diferentes formas según las finalidades a las que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedero es de pared gruesa”. (Gilberto Sotelo, 1999, pág. 241).

### **2.3. Marco Metodológico.**

A continuación, se detallará el procedimiento que se realizará en el laboratorio de Hidráulica ubicado en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, donde se realizó la toma de datos para la obtención de los coeficientes de descarga y así se procederá a generar las curvas comparativas que permitirá conocer la variación de coeficientes de descarga en el vertedero trapezoidal de pared delgada manteniendo la relación altura/base.

Para proceder con la toma de muestras con motivo de realizar la elaboración de las tablas a usar, se hizo uso del equipo electrónico “**HYDROTECH**” versión Firmware 4.3 creado por el autor para uso exclusivo del presente proyecto de titulación.

#### **2.3.1. Tipos de Investigación.**

El presente proyecto, se fundamentó en dos tipos de investigaciones: La **investigación exploratoria** debido a que se está obteniendo una comparación entre los coeficientes de descarga que se pueden conseguir mediante la variación de dimensiones de un vertedero trapezoidal de pared delgada sin modificar la relación altura/base y, la **investigación experimental**, ya que se procederá a variar el ángulo de inclinación cada 5° iniciando desde

los 40° hasta llegar a los 15°, este rango de ángulos es limitado por la corta longitud de la base del canal hidráulico.

#### **2.3.1.1. Enfoque de la Investigación.**

Mediante la elaboración de las prácticas de laboratorio se realizarán tomas de datos con el fin de generar curvas referenciales en las que se indicarán las variaciones de los coeficientes de descarga, según cada cambio referente al ángulo de inclinación y la base del vertedero, una vez obtenidas dichas curvas, se procederá a realizar el análisis comparativo entre los coeficientes de descarga.

En base a las características de esta investigación se define que esta investigación tiene **ENFOQUE CUANTITATIVO.**

#### **2.3.1.2. Técnicas de la Investigación.**

Dentro del proyecto de investigación las técnicas que se usaron para la obtención de datos han sido métodos prácticos, teóricos y tecnológicos como lo es en el caso de la implementación del hardware y software que permite la automatización del canal.

A continuación, se detallan las técnicas usadas:

- Visita al Laboratorio de Hidráulica para realizar las pruebas de laboratorio.
- Obtención de datos para cálculo de coeficientes de descarga y proceder a realizar el análisis.
- Se usarán hojas de cálculo en el software de Microsoft Excel, para la elaboración de las diferentes tablas de cálculo encontradas dentro del proyecto, como por ejemplo: tabla comparativa de coeficientes de descarga según ángulo de inclinación y relación altura/base.
- Se usarán apuntes de las clases recibidas para el cálculo de las variantes que se presenten para obtener los coeficientes de descarga.

### **2.3.2. Sistema electrónico.**

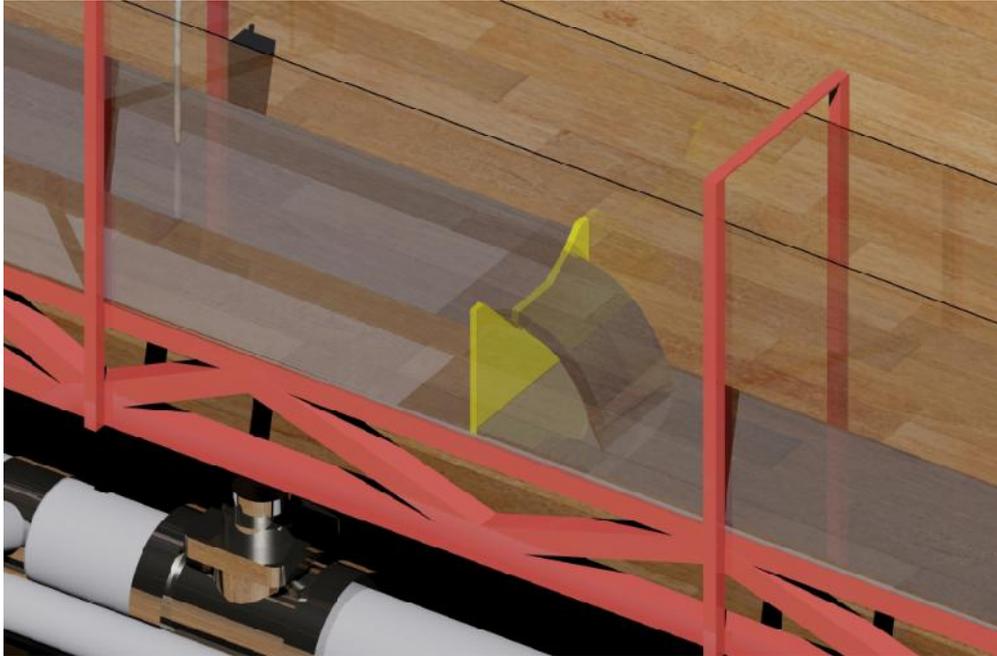
Este sistema electrónico “**HYDROTECH**” versión **Firmware 4.3**, podrá ser usado en distintos ámbitos, por ejemplo:

- En el diseño de vertederos para los canales de riego en el sector agrícola, beneficiando a los agricultores que utilizan la metodología empírica para realizar construcciones de canales hidráulicos para el riego de sus cultivos.
- En plantas de tratamiento de aguas residuales, al momento de realizar un aforo hidráulico de las aguas servidas, además de servir en los desarenadores al mantener un nivel de caudal y velocidad constante y así garantizar la sedimentación de todas las partículas más densas.
- Además, podrá ser utilizado en los laboratorios de hidráulica para la automatización de los canales construidos artesanalmente, y generar alternativas para el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería civil en la rama de hidráulica.

### **2.3.3. Actividades previas para el desarrollo de la investigación.**

Para dar uso del sistema en el vertedero, se deben seguir los siguientes pasos:

- Verificar que el canal esté nivelado a  $0^\circ$  en la horizontal.
- El vertedero debe estar instalado perpendicularmente a la solera y paredes del canal.
- Comprobar que la distancia mínima entre los limnímetros y el vertedero sea mayor a diez veces la carga a aplicar sobre el vertedero.
- Identificar que el agua almacenada en los reservorios del canal hidráulico no tengan partículas que puedan afectar a la práctica de laboratorio.
- Observar que en las juntas de las paredes y solera del canal hidráulico no existan fugas que puedan afectar a los resultados de la práctica de laboratorio.



**Imagen 6.-** Render del Vertedero trapezoidal ubicado en el Laboratorio de Hidráulica.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### **2.3.4. Recursos Utilizados para los Ensayos de Laboratorio.**

- Un Canal Hidráulico de longitud 6.00 mts y ancho 0.25 mts.
- Una Bomba Eléctrica de  $H_{max} = 14.5$  mts.
- Arduino Uno.
- Dos Limnímetros electrónicos.
- Caudalímetro.
- Cronometro electrónico.

Se debe mencionar que, los limnímetros y el cronómetro fueron controlados mediante el equipo electrónico “**HYDROTECH**” versión Firmware 4.3, dentro del hardware de plataforma para prototipos electrónicos de código abierto Arduino.

### 2.3.5. Hydrotech.

El equipo electrónico “**HYDROTECH**” fue diseñado, elaborado y construido por parte del autor del presente proyecto de titulación, con el fin de facilitar la ejecución de la práctica de laboratorio gracias a su sistema electromecánico que permite realizar lecturas de las diversas variables hidráulicas para así obtener información rápida y precisa, además de analizar y calcular diferentes parámetros como son:

- Caudal Real
- Caudal Teórico
- Velocidad Aguas arriba
- Velocidad en vertedero
- Velocidad aguas abajo
- Cota aguas arriba
- Cota de carga en vertedero
- Cota aguas abajo
- Coeficiente de descarga

Cabe mencionar que con el equipo electrónico “**HYDROTECH**” también se podrán analizar resultados con otros tipos de vertederos hidráulicos, tales como el vertedero rectangular, circular y triangular.

Con el importante avance tecnológico que actualmente posee el mundo, se consideró que la automatización del canal hidráulico, ubicado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, fue de mucha contribución para los alumnos que ahora utilizarán la mencionada herramienta electrónica en sus prácticas hidráulicas.

### **2.3.6. Pasos a seguir para la obtención de resultados dentro del programa “HYDROTECH”.**

- Encender el equipo, en este caso, el Arduino uno y sus componentes.
- Esperar la auto calibración del equipo.
- Seleccionar el tipo de vertedero a utilizar de una lista de posibles opciones, en este caso se elegirá el vertedero trapezoidal.
- Ingresar los datos del vertedero, como son: ángulos de inclinación de las paredes trapezoidales, altura de base de vertedero en relación con la solera del canal, ancho de base, etc. (Datos en milímetros).
- Verificar los datos ingresados en menú de resumen.
- Dar la orden al programa “HYDROTECH” para que encienda la bomba, (Inicio de práctica).
- Calibrar manualmente la válvula de apertura de flujo, con el fin de determinar un calado específico aguas arriba.
- Verificar y aceptar que el calado aguas arriba del vertedero sea el deseado.
- Ejecutar la toma de tiempo manual que el equipo solicita para calcular el caudal real que se efectúa en relación con el calado deseado.
- Observar los resultados preliminares que muestra el programa “HYDROTECH” en la pantalla del equipo.
- Imprimir mediante bluetooth los resultados definitivos en la aplicación para celular del programa “HYDROTECH”. (Fin de práctica).

### **2.3.7. Observaciones en toma de datos.**

El Programa HYDROTECH en su versión de Firmware 4.3, permite automatizar el canal de modo que, una vez ingresados y verificados los datos, automáticamente se enciende la bomba permitiendo así el llenado del canal para dar inicio a la práctica.

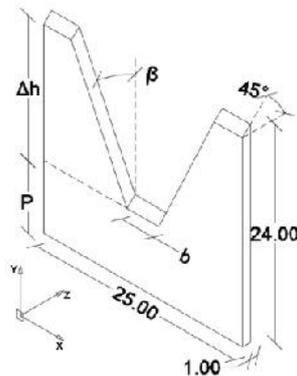
- Cuando se haya estabilizado el nivel del agua dentro del canal, los dos limnómetros empezarán a buscar el nivel del espejo de agua.

- Una vez que ambos limnómetros ubicaron el nivel del espejo de agua, se procede a medir el caudal con la ayuda un medidor de flujo análogo.
- Presionar el botón azul una vez que la aguja del medidor de flujo análogo realice una revolución, este proceso se lo repite 3 veces para poder sacar el promedio de tiempos, los mismos que aparecerán en la pantalla.
- Una vez obtenidos los tiempos y toda la información, se procede a parar la práctica presionando el botón “#” en el teclado del equipo.
- El programa envía un mensaje de advertencia preguntando si se desea apagar la bomba, se presiona el botón cuya reacción responderá “SI”.
- El programa envía un segundo mensaje de advertencia preguntando si se desea imprimir los resultados, se presiona el botón cuya reacción responderá “SI” y aparte de enviar los resultados al dispositivo móvil que tenga configurado, muestra los mismos resultados en la pantalla.
- Finalmente, el dispositivo reinicia las variables de la práctica, pero mantiene guardadas las dimensiones del vertedero para un siguiente ensayo.

### 3. CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES.

#### 3.1. Diseño de los vertederos trapezoidales.

Para los ensayos se utilizaron 24 vertederos, los cuales se detallan a continuación:



**Imagen 7.- Diseño de vertedero con variables.**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

**Tabla 1.- Variables de diseño de los vertederos trapezoidales.**

DISEÑO DE VERTEDEROS									
n		P	h	Base (b)	n		P	h	Base (b)
	Grados	cm	cm	cm		Grados	cm	cm	cm
1	40	14.00	10.00	2.00	13	25	9.00	15.00	2.00
2				4.00	14				4.00
3				6.00	15				6.00
4				8.00	16				8.00
5	35	14.00	10.00	2.00	17	20	9.00	15.00	2.00
6				4.00	18				4.00
7				6.00	19				6.00
8				8.00	20				8.00
9	30	14.00	10.00	2.00	21	15	4.00	20.00	2.00
10				4.00	22				4.00
11				6.00	23				6.00
12				8.00	24				8.00

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

Cabe destacar que para cada uno de los 24 vertederos, se ejecutaron 4 ensayos con calados sobre el mismo de: 2, 4, 6 y 8 cm, dando en total 96 prácticas de laboratorio.

### 3.2. Tabla y formulario utilizado para el procesamiento de datos.

Para interpretación de datos registrados por el sistema electrónico “HYDROTECH”, se hizo uso de la siguiente tabla.

Tabla 2.- Muestra de tabla de cálculo.

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm <sup>2</sup>	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba m/seg	Sobre vertedero m/seg	Aguas arriba m/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
1													
2													
3													
4													

Variable

Sensado

Calculado

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

En la presente tabla se observan tres tipos de datos:

- **Variable:** Son los datos que se pueden medir físicamente, utilizadas para realizar los cálculos.
- **Sensado:** Corresponden a los datos tomados por los sensores del sistema electrónico “HYDROTECH”.
- **Calculado:** Pertenecen a los procesos y cálculos matemáticos realizados por el sistema electrónico “HYDROTECH”.

Donde:

**n:** Representa el número de muestras tomadas.

**α:** Ángulo de inclinación, medida en grados, de las paredes del vertedero con respecto a la horizontal.

**Base (b):** Longitud de base medida en milímetros.

**Carga sobre el vertedero (h):** Es la cota hidráulica aplicada, medida en milímetros por medio del sistema electromecánico, desde la base del vertedero hasta el espejo de agua.

**Tiempo (t):** Es el tiempo en segundos que el medidor de flujo análogo tardó en sensar 100 litros.

**Calado aguas arriba (ha):** Es la carga hidráulica anterior al vertedero, medido en centímetros por medio del sistema electromecánico, desde la solera del canal hasta el espejo de agua.

**Calado aguas abajo (ho):** Es la carga hidráulica posterior al vertedero, medida en centímetros por medio del sistema electromecánico, desde la solera del canal hasta el espejo de agua.

**Área mojada (Am):** Es la sección del vertedero, medida en centímetros cuadrados, en función de la carga sobre el vertedero, ángulo de inclinación y ancho de base, donde el agua está en contacto directo con las paredes internas del vertedero que permiten el flujo hidráulico.

$$A = \frac{h(t; \beta x h + b)}{1}$$

**Velocidad aguas arriba (va):** Es la velocidad del flujo hidráulico anterior al vertedero, medida en metros sobre segundo.

**Velocidad en vertedero (v):** Es la velocidad del flujo hidráulico en la sección del área mojada en el vertedero, medida en metros sobre segundo.

**Velocidad aguas abajo (vo):** Es la velocidad del flujo hidráulico posterior al vertedero, medida en metros sobre segundo.

**Caudal teórico (Qt):** Caudal producto de una ecuación matemática, medido en litros sobre segundo.

$$Q_t = 1000 \left( \frac{8}{1} \sqrt{2} * t * \beta * \left( \frac{h}{1} \right)^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} \sqrt{2} * \left( \frac{b}{1} \right) \left( \frac{h}{1} \right)^{\frac{3}{2}} \right)$$

**Caudal real (Qr):** Caudal determinado por cálculos matemáticos, medido en litros sobre segundo.

$$Q = A \times V$$

**Coefficiente de descarga (Cd):** Cociente producto de la división entre el caudal real sobre el caudal teórico.

$$C = \frac{Q}{Q_t}$$

### 3.3. Resumen y desglose de resultados.

Tabla 3.- Resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm <sup>2</sup>	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
1	40	20.00	20.05	755.32	16.20	2.57	7.38	0.00	17.93	0.02	0.28	0.13	0.47
2			39.97	140.46	18.20	3.14	21.40	0.02	33.27	0.09	1.11	0.71	0.64
3			60.03	60.92	20.20	4.12	42.24	0.03	38.86	0.16	2.62	1.64	0.63
4			80.05	31.92	22.20	5.15	69.78	0.06	44.90	0.24	4.93	3.13	0.64
5		40.00	20.13	404.38	16.21	2.75	11.45	0.01	21.59	0.04	0.45	0.25	0.55
6			40.03	99.18	18.20	3.53	29.46	0.02	34.23	0.11	1.58	1.01	0.64
7			60.03	45.05	20.20	4.66	54.25	0.04	40.92	0.19	3.49	2.22	0.64
8			80.02	24.66	22.20	5.79	85.74	0.07	47.30	0.27	6.26	4.06	0.65
9		60.00	19.96	257.75	16.20	2.66	15.32	0.01	25.33	0.06	0.61	0.39	0.63
10			39.95	78.79	18.20	3.86	37.36	0.03	33.97	0.13	2.05	1.27	0.62
11			59.96	35.37	20.20	4.97	66.14	0.05	42.74	0.22	4.35	2.83	0.65
12			79.96	19.10	22.20	5.57	101.62	0.09	51.52	0.36	7.59	5.24	0.69
13		80.00	20.12	189.66	16.21	2.98	19.49	0.01	27.05	0.07	0.79	0.53	0.67
14			40.04	60.69	18.20	4.07	45.48	0.04	36.23	0.16	2.53	1.65	0.65
15			59.97	29.38	20.20	5.35	78.15	0.07	43.55	0.26	5.22	3.40	0.65
16			80.00	17.20	22.20	3.50	117.70	0.11	49.40	0.68	8.93	5.81	0.65

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm <sup>2</sup>	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
17	35	20.00	20.41	1057.16	16.24	2.49	7.00	0.00	13.52	0.02	0.27	0.09	0.35
18			40.03	169.34	18.20	2.77	19.23	0.01	30.71	0.08	1.00	0.59	0.59
19			60.04	70.64	20.20	3.93	37.25	0.03	38.00	0.14	2.33	1.42	0.61
20			79.96	36.91	22.20	4.90	60.76	0.05	44.59	0.22	4.33	2.71	0.63
21		40.00	19.88	398.06	16.19	3.13	10.72	0.01	23.44	0.03	0.42	0.25	0.59
22			39.92	109.19	18.19	3.54	27.13	0.02	33.76	0.10	1.47	0.92	0.62
23			60.05	49.32	20.20	4.52	49.27	0.04	41.15	0.17	3.20	2.03	0.63
24			80.00	27.56	22.20	5.46	76.81	0.06	47.24	0.26	5.67	3.63	0.64
25		60.00	19.92	259.83	16.19	2.80	14.73	0.01	26.13	0.05	0.59	0.38	0.65
26			39.96	80.34	18.20	3.66	35.16	0.03	35.40	0.14	1.94	1.24	0.64
27			59.98	37.22	20.20	4.81	61.18	0.05	43.92	0.21	4.06	2.69	0.66
28			79.99	22.17	22.20	5.93	92.80	0.08	48.61	0.30	7.00	4.51	0.64
29		80.00	19.91	200.04	16.09	2.97	18.70	0.01	26.73	0.07	0.76	0.50	0.66
30			40.01	64.02	18.10	4.06	43.22	0.03	36.14	0.15	2.42	1.56	0.65
31			60.01	31.40	20.10	5.24	73.22	0.06	43.49	0.24	4.93	3.18	0.65
32			80.02	18.22	22.10	6.05	108.85	0.10	50.42	0.37	8.34	5.49	0.66

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm2	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
33	30	20.00	20.49	914.33	16.15	2.41	6.52	0.00	16.77	0.02	0.26	0.11	0.43
34			39.99	178.42	18.10	2.95	17.23	0.01	32.53	0.07	0.91	0.56	0.62
35			59.96	76.52	20.10	3.74	32.75	0.03	39.91	0.14	2.07	1.31	0.63
36			79.96	42.04	22.10	4.65	52.91	0.04	44.96	0.20	3.80	2.38	0.63
37		40.00	19.97	417.97	16.20	2.71	10.29	0.01	23.25	0.04	0.41	0.24	0.58
38			40.01	111.32	18.20	3.06	25.25	0.02	35.58	0.11	1.38	0.90	0.65
39			60.06	53.32	20.21	4.28	44.85	0.04	41.82	0.17	2.94	1.88	0.64
40			80.02	30.75	22.20	5.20	68.98	0.06	47.15	0.25	5.14	3.25	0.63
41		60.00	19.97	294.23	16.10	2.74	14.28	0.01	23.79	0.05	0.58	0.34	0.59
42			40.03	88.76	18.10	3.30	33.27	0.02	33.86	0.13	1.86	1.13	0.61
43			60.04	42.72	20.10	4.63	56.84	0.05	41.19	0.20	3.81	2.34	0.61
44			80.00	24.83	22.10	5.64	84.95	0.07	47.41	0.28	6.48	4.03	0.62
45		80.00	19.98	203.13	16.10	2.83	18.29	0.01	26.92	0.07	0.74	0.49	0.66
46			40.07	67.33	18.11	3.52	41.33	0.03	35.94	0.17	2.33	1.49	0.64
47			60.05	33.89	20.10	4.68	68.86	0.06	42.85	0.25	4.68	2.95	0.63
48			80.01	19.93	22.10	6.15	100.97	0.09	49.69	0.33	7.82	5.02	0.64

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm2	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
49	25	20.00	19.97	1155.97	11.10	2.36	5.85	0.00	14.78	0.01	0.23	0.09	0.38
50			40.01	206.50	13.10	2.76	15.47	0.01	31.31	0.07	0.83	0.48	0.59
51			59.96	88.44	15.10	3.69	28.76	0.03	39.32	0.12	1.84	1.13	0.62
52			80.01	48.49	17.10	4.55	45.85	0.05	44.98	0.18	3.33	2.06	0.62
53		40.00	19.98	456.83	11.10	2.28	9.85	0.01	22.22	0.04	0.40	0.22	0.55
54			39.97	118.29	13.10	3.01	23.44	0.03	36.07	0.11	1.30	0.85	0.65
55			59.98	57.91	15.10	4.08	40.77	0.04	42.36	0.16	2.71	1.73	0.64
56			79.96	33.66	17.10	5.01	61.80	0.07	48.07	0.24	4.66	2.97	0.64
57		60.00	20.04	289.02	11.10	2.60	13.90	0.01	24.90	0.05	0.57	0.35	0.61
58			40.01	89.28	13.10	3.51	31.47	0.03	35.59	0.13	1.77	1.12	0.63
59			60.01	44.44	15.10	4.57	52.80	0.06	42.62	0.20	3.58	2.25	0.63
60			79.96	26.75	17.10	5.47	77.79	0.09	48.06	0.28	6.00	3.74	0.62
61		80.00	19.92	203.90	11.09	2.80	17.79	0.02	27.57	0.07	0.73	0.49	0.68
62			39.96	69.22	13.10	3.92	39.41	0.04	36.65	0.15	2.24	1.44	0.65
63			59.99	35.63	15.10	5.04	64.77	0.07	43.33	0.22	4.44	2.81	0.63
64			80.03	21.31	17.10	6.06	93.89	0.11	49.98	0.32	7.34	4.69	0.64

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm2	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
65	20	20.00	20.02	1039.09	11.10	2.16	5.46	0.00	17.62	0.02	0.22	0.10	0.45
66			40.02	211.19	13.10	2.73	13.83	0.01	34.23	0.07	0.75	0.47	0.63
67			59.97	96.39	15.10	3.39	25.08	0.03	41.36	0.12	1.62	1.04	0.64
68			80.02	53.94	17.10	4.26	39.31	0.04	47.16	0.17	2.89	1.85	0.64
69		40.00	19.88	462.86	11.09	2.58	9.39	0.01	23.01	0.03	0.38	0.22	0.57
70			40.02	140.29	13.10	2.83	21.84	0.02	32.64	0.10	1.22	0.71	0.58
71			59.95	67.70	15.10	3.90	37.06	0.04	39.86	0.15	2.49	1.48	0.59
72			80.00	38.40	17.10	4.76	55.29	0.06	47.10	0.21	4.23	2.60	0.62
73		60.00	19.88	324.16	11.09	3.27	13.37	0.01	23.08	0.04	0.54	0.31	0.57
74			39.92	100.85	13.09	3.34	29.75	0.03	33.33	0.12	1.69	0.99	0.59
75			59.99	49.44	15.10	4.38	49.09	0.05	41.20	0.19	3.36	2.02	0.60
76			79.96	29.07	17.10	5.30	71.25	0.08	48.28	0.26	5.56	3.44	0.62
77		80.00	19.90	207.50	11.09	2.98	17.36	0.02	27.76	0.07	0.71	0.48	0.68
78			39.98	72.28	13.10	3.85	37.80	0.04	36.60	0.14	2.16	1.38	0.64
79			60.02	36.71	15.10	4.95	61.13	0.07	44.56	0.21	4.23	2.72	0.64
80			80.05	22.36	17.10	5.98	87.36	0.10	51.19	0.29	6.91	4.47	0.65

DATOS DE LABORATORIO													
n	Grados	Base mm	Carga sobre el vertedero mm	Tiempo seg	Calados		Área mojada cm2	Velocidad			Caudal		Coef descarga
					Aguas arriba cm	Aguas abajo cm		Aguas arriba cm/seg	Sobre vertedero cm/seg	Aguas arriba cm/seg	Teórico l/seg	Real l/seg	
81	15	20.00	19.99	1219.34	6.00	2.26	5.07	0.01	16.18	0.01	0.20	0.08	0.40
82			39.97	246.74	8.00	2.74	12.27	0.02	33.02	0.06	0.67	0.41	0.60
83			59.99	115.42	10.00	3.38	21.64	0.03	40.04	0.10	1.43	0.87	0.61
84			80.01	65.69	12.00	4.04	33.16	0.05	45.91	0.15	2.48	1.52	0.61
85		40.00	19.42	586.20	6.04	2.32	8.78	0.01	19.43	0.03	0.35	0.17	0.48
86			39.96	142.29	8.10	2.99	20.26	0.03	34.68	0.09	1.15	0.70	0.61
87			60.04	70.61	10.10	3.84	33.68	0.05	42.06	0.14	2.30	1.42	0.62
88			80.00	41.83	12.10	4.60	49.15	0.08	48.64	0.20	3.82	2.39	0.63
89		60.00	20.11	302.75	6.11	2.88	13.15	0.02	25.12	0.04	0.54	0.33	0.61
90			39.98	94.87	8.10	3.51	28.27	0.05	37.28	0.12	1.62	1.05	0.65
91			59.99	49.10	10.10	4.42	45.64	0.08	44.63	0.19	3.16	2.04	0.64
92			79.97	30.09	12.10	5.28	65.12	0.11	51.04	0.26	5.15	3.32	0.65
93		80.00	20.01	223.88	6.00	3.14	17.08	0.03	26.15	0.06	0.70	0.45	0.63
94			40.03	76.46	8.00	3.94	36.32	0.07	36.01	0.13	2.09	1.31	0.62
95			60.00	39.67	10.00	4.70	57.65	0.10	43.73	0.21	4.03	2.52	0.63
96			80.01	24.28	12.00	5.65	81.16	0.13	50.75	0.28	6.49	4.12	0.63

Elaborado por: Torres Albán, J.

### 3.1.1. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura 40°.

#### 3.1.1.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

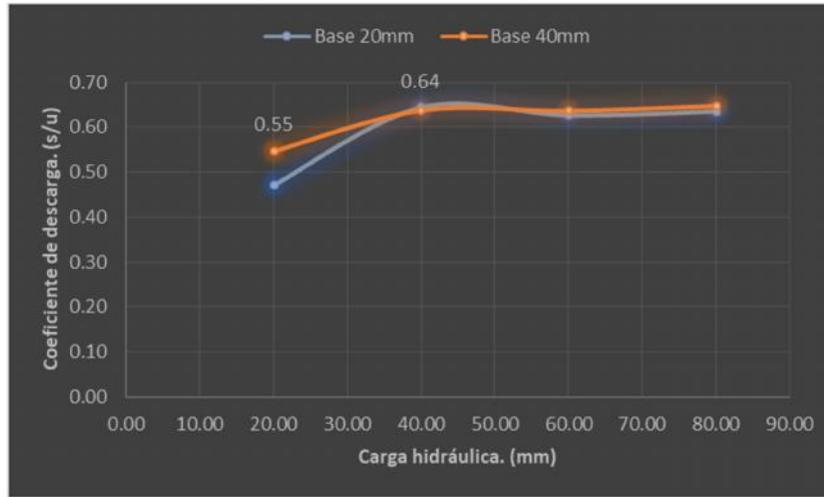


Gráfico 1.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

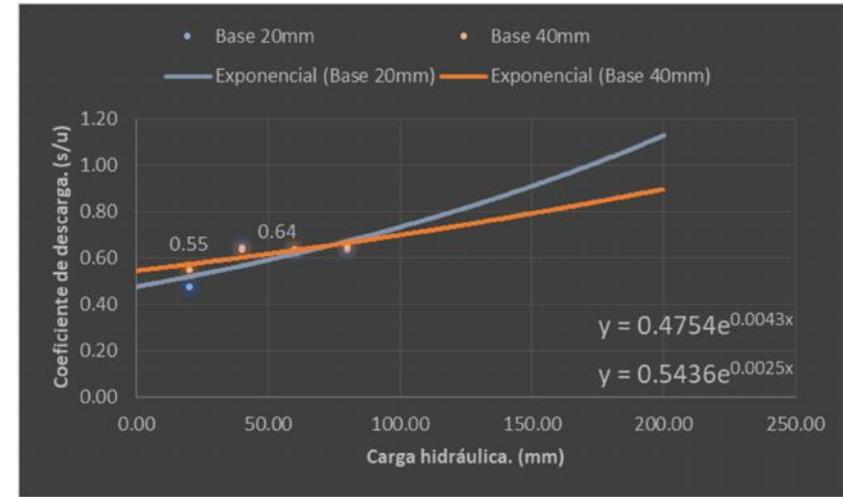


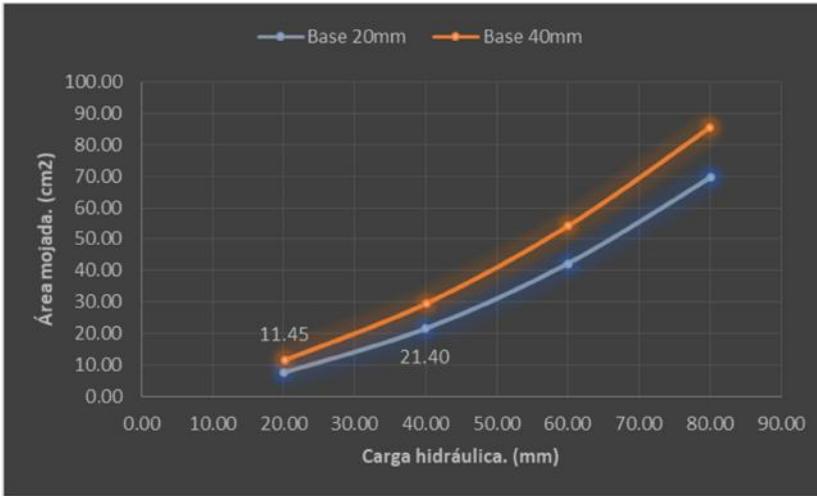
Gráfico 2.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 1 y 2.

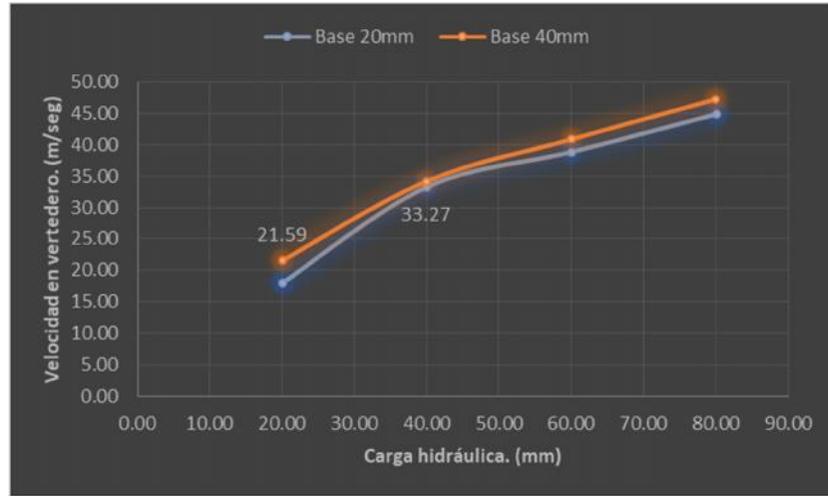
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.55
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 2 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 3.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 4.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.**

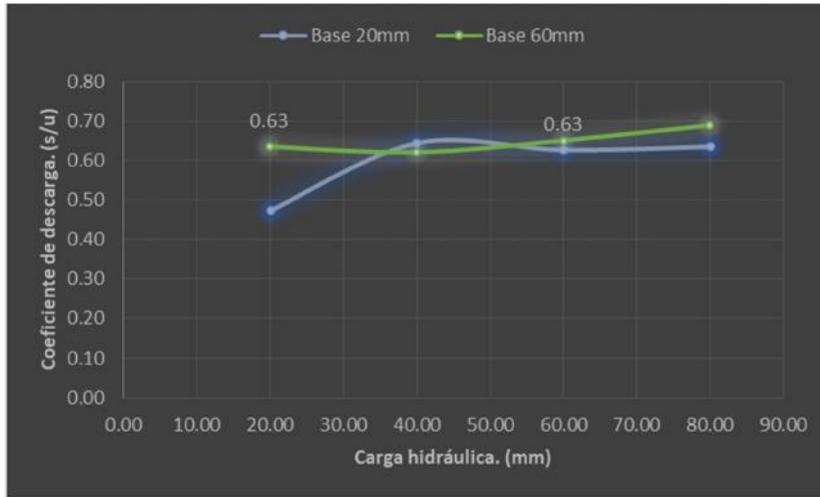
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### **Explicación comparativa de las curvas 3 y 4.**

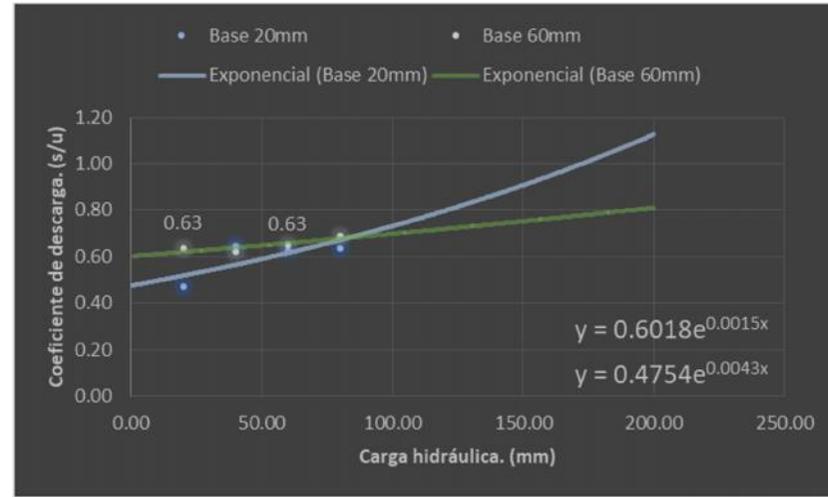
Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 11.45 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 21.40 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 21.59 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 33.27 m/seg.

### 3.1.1.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.



**Gráfico 5.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

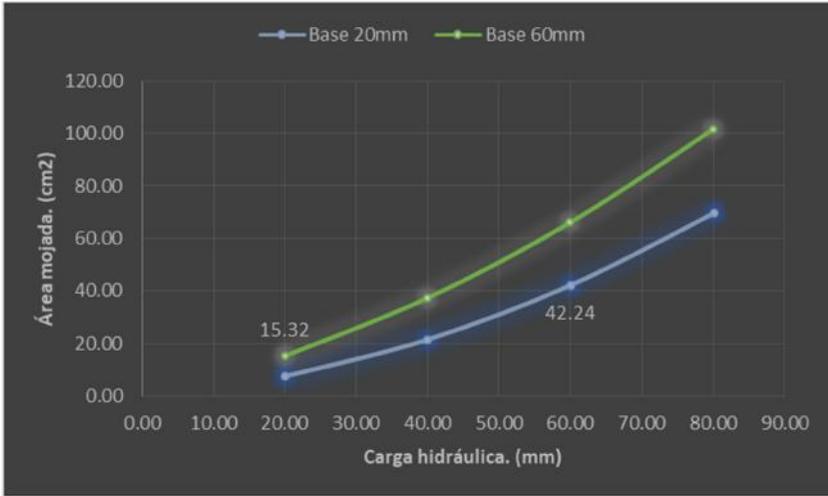


**Gráfico 6.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

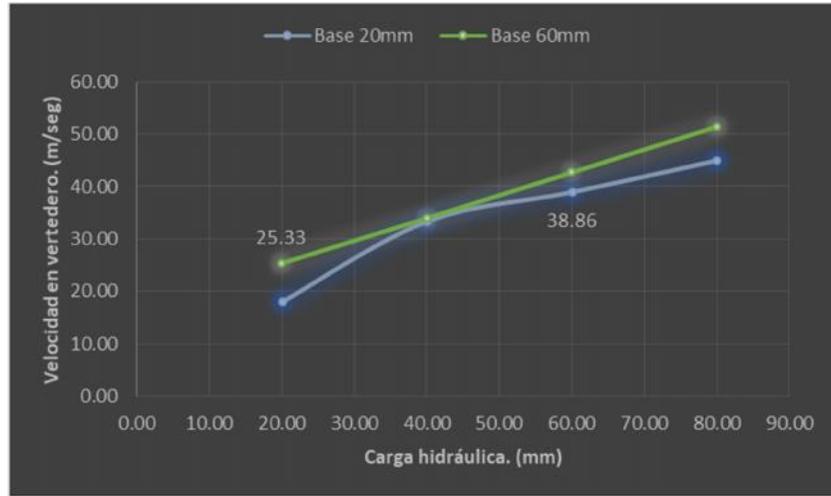
#### Explicación comparativa de las curvas 5 y 6.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan igual.
- En el gráfico de la curva 6 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 7.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 8.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 7 y 8.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 15.32 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 42.24 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 25.33 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 38.86 m/seg.

### 3.1.1.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

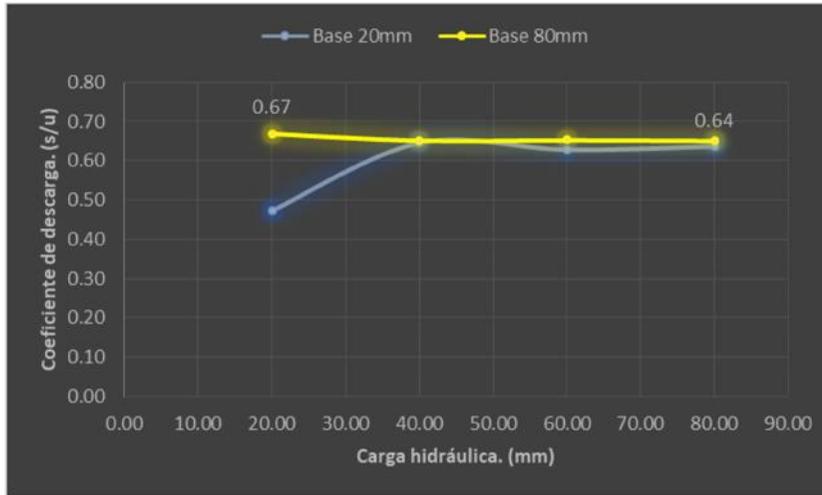


Gráfico 9.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

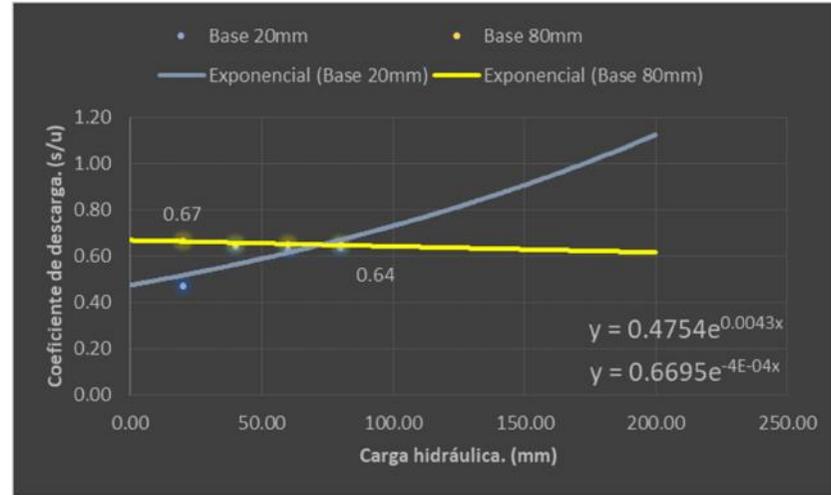


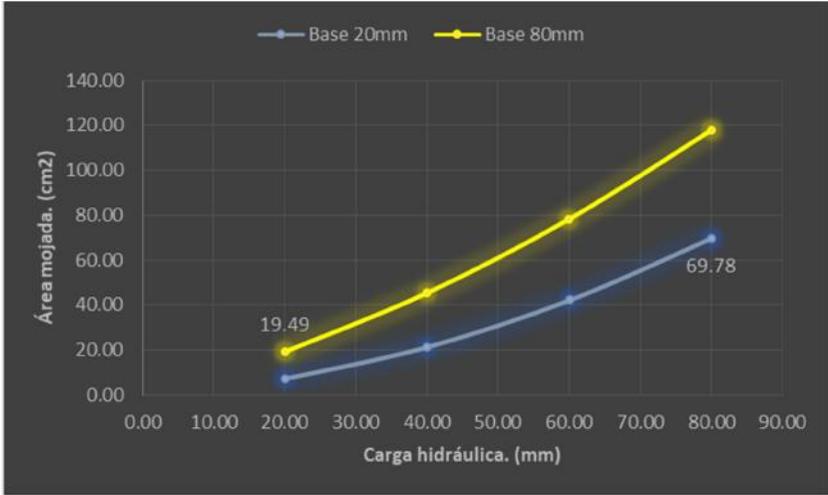
Gráfico 10.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 9 y 10.

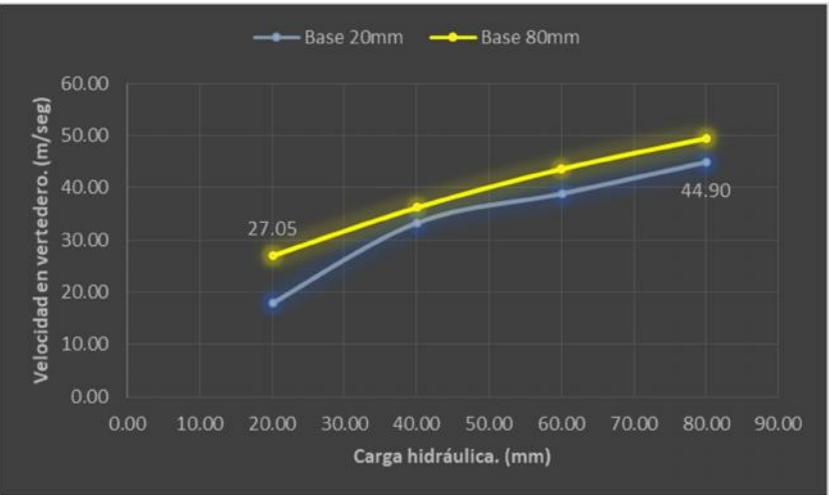
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.67
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 10 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 11.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**



**Gráfico 12.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

**Explicación comparativa de las curvas 11 y 12.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 19.49 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 69.78 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 27.05 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 44.90 m/seg.

### 3.1.1.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.

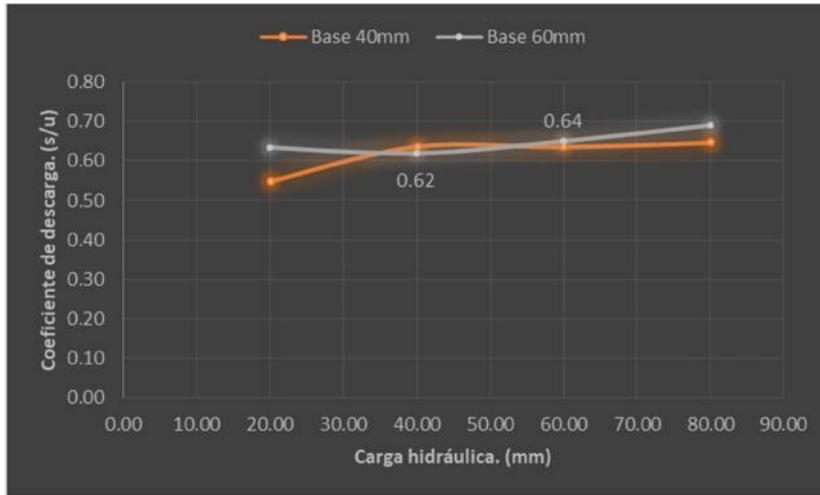


Gráfico 13.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

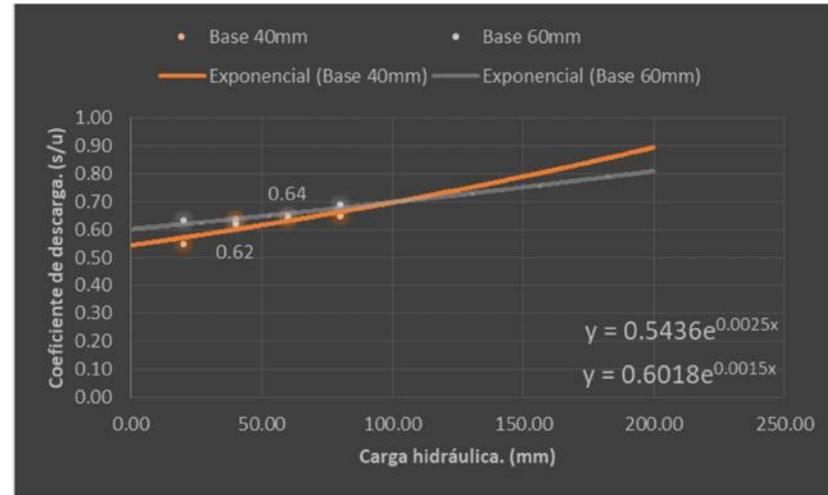


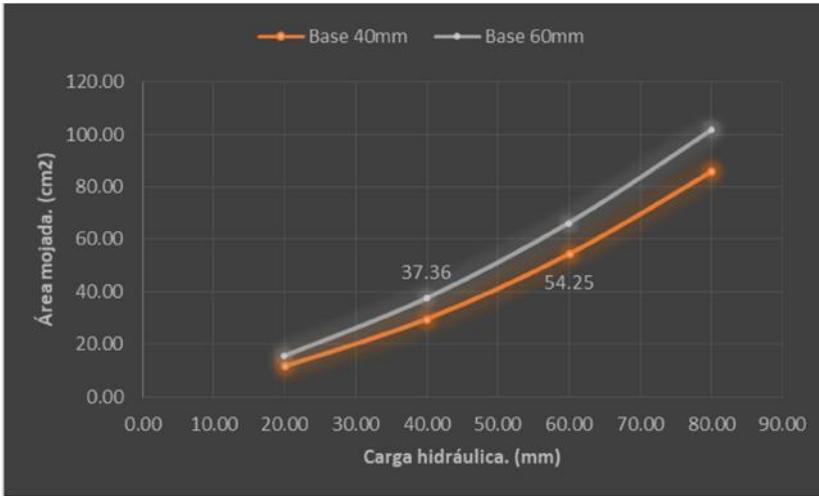
Gráfico 14.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

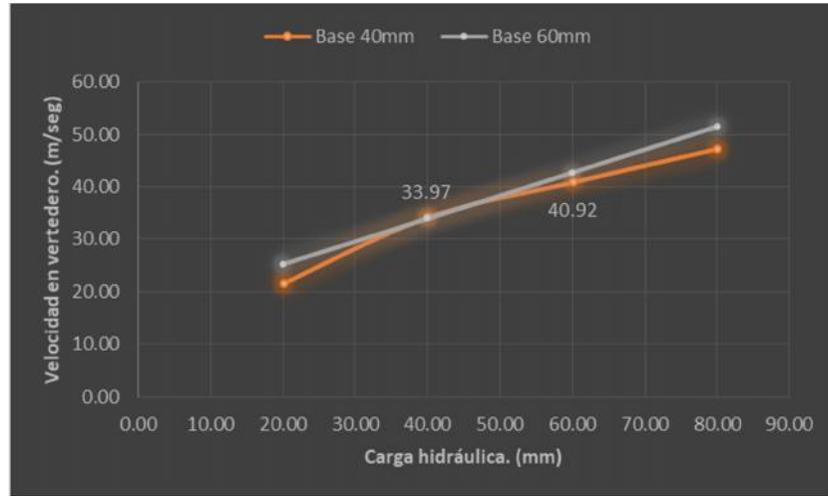
#### Explicación comparativa de las curvas 13 y 14.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.62
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 14 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 15.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 16.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 15 y 16.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 37.36 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 54.25 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 33.97 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 40.92 m/seg.

### 3.1.1.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

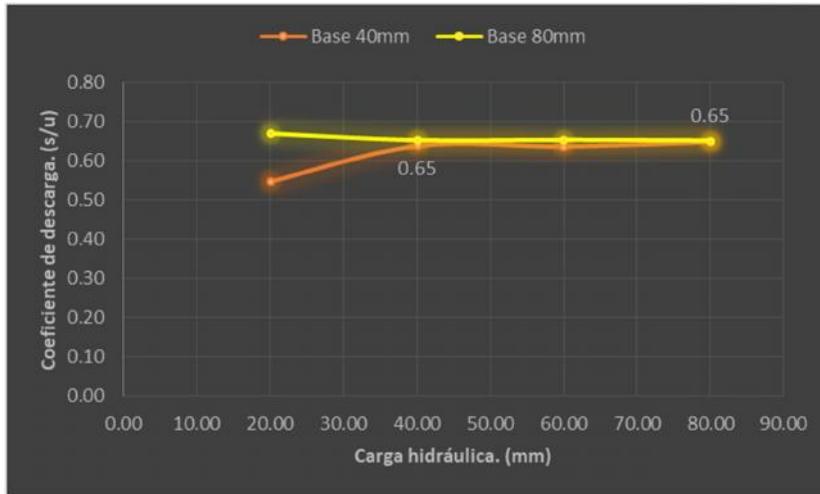


Gráfico 17.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

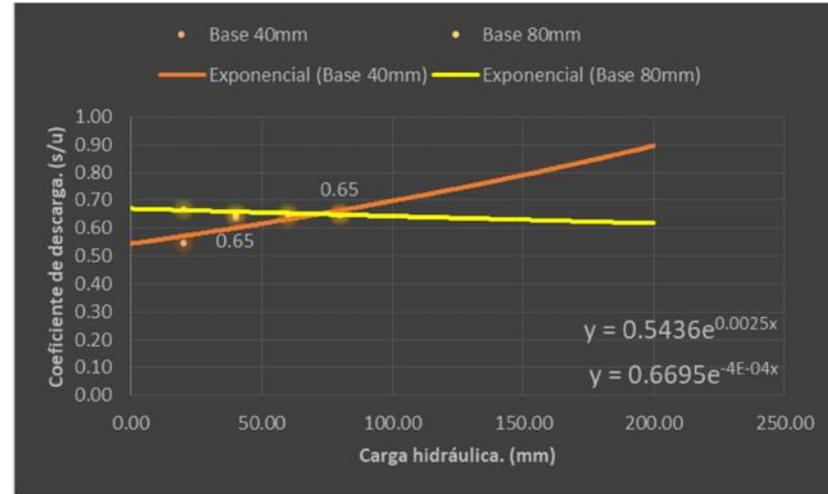


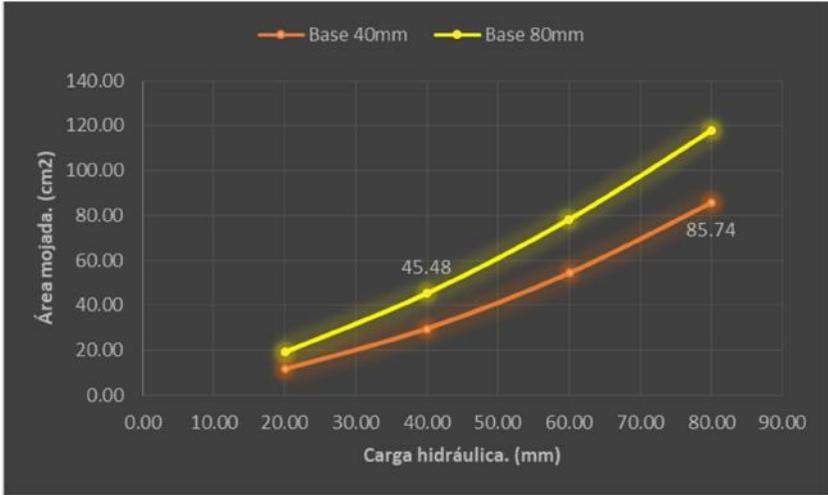
Gráfico 18.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

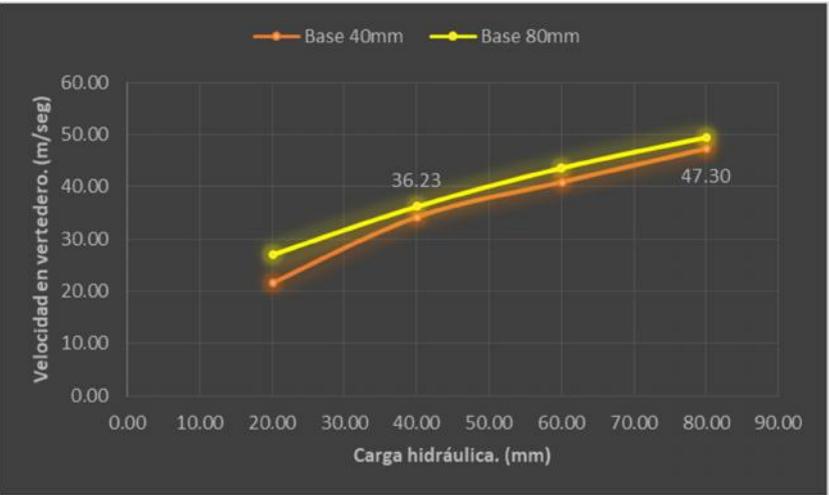
#### Explicación comparativa de las curvas 17 y 18.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.65
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan igual.
- En el gráfico de la curva 18 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 19.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 20.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 19 y 20.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 45.48 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 85.74 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 36.23 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 47.30 m/seg.

### 3.1.1.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

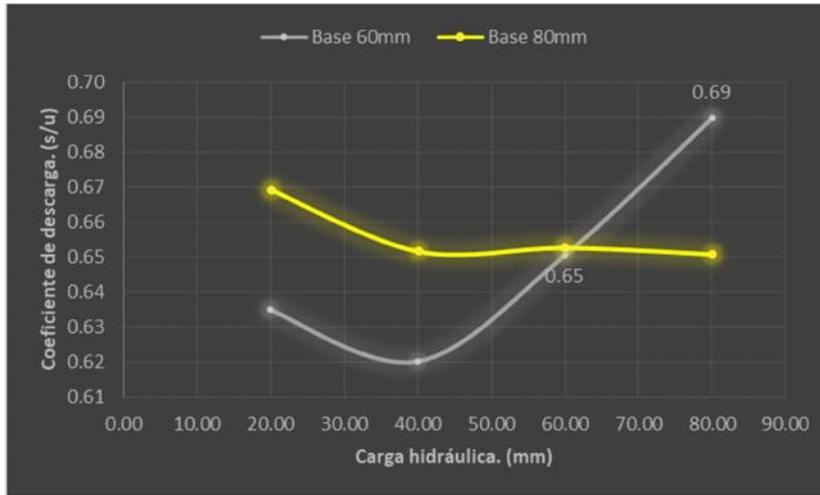


Gráfico 21.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 21 y 22.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.69
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 22 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.

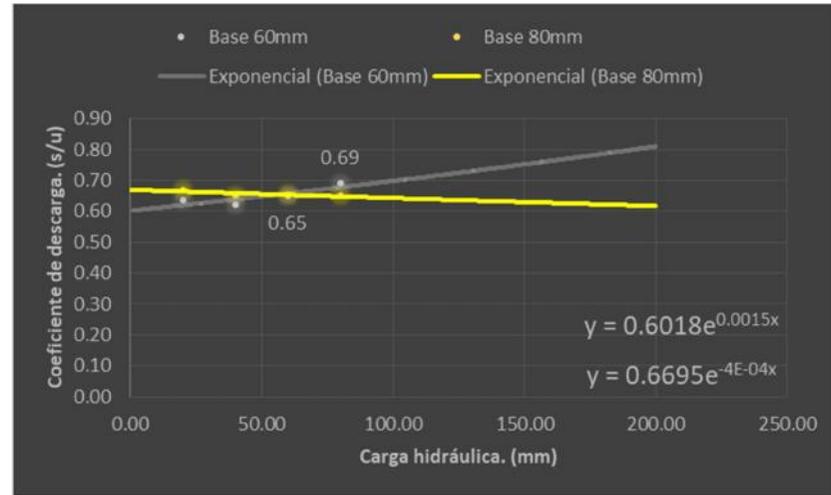
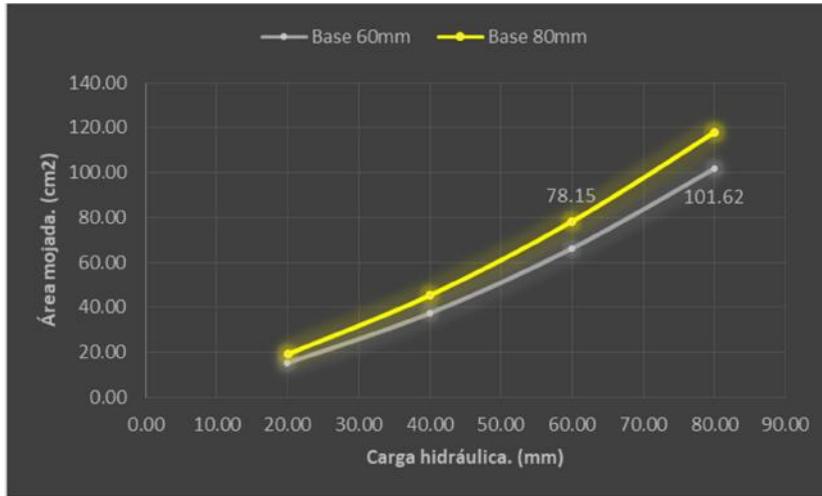
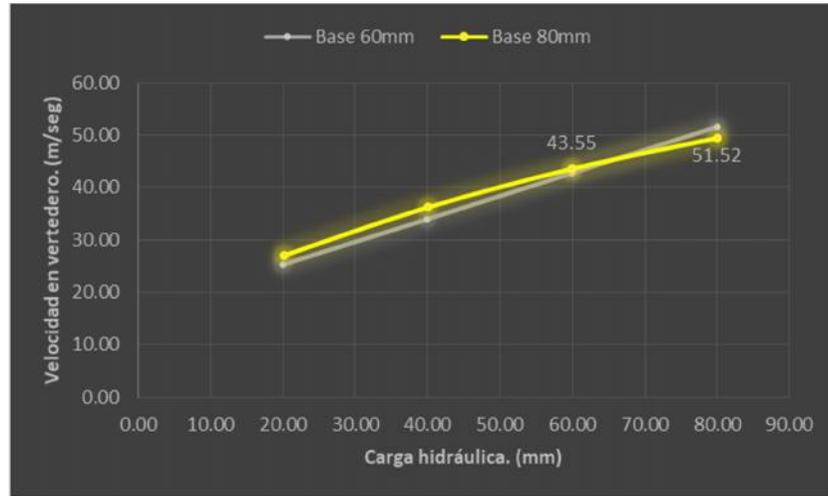


Gráfico 22.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 23.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



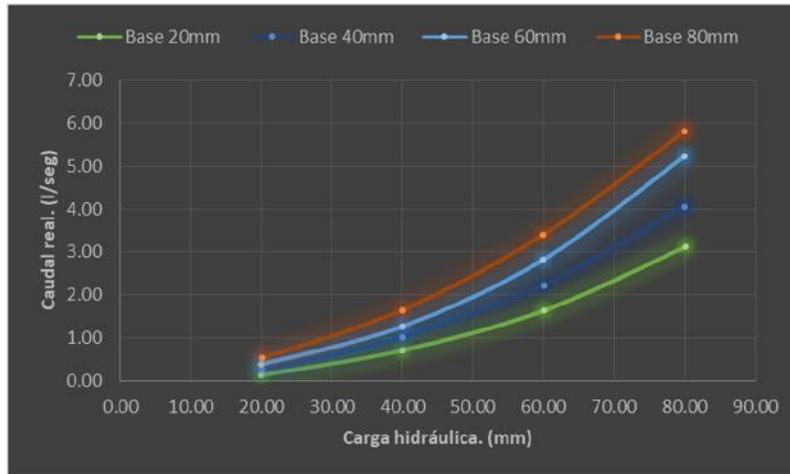
**Gráfico 24.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 23 y 24.**

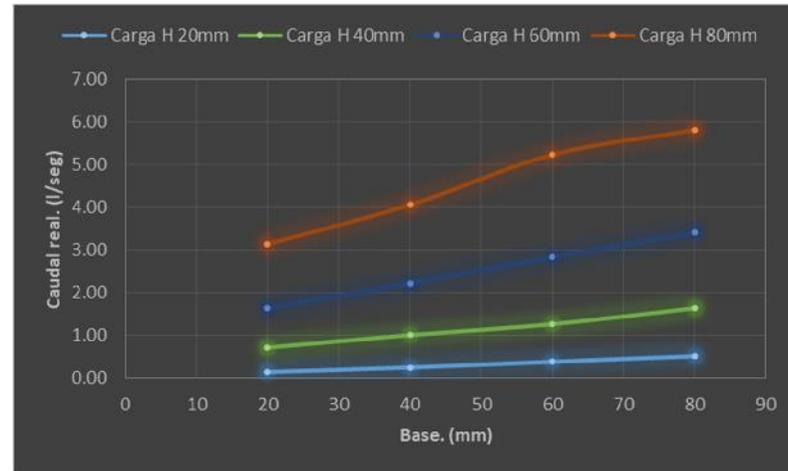
Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 78.15 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 101.62 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 43.55 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 51.52 m/seg.

### 3.1.1.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 40°.



**Gráfico 25.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 40°. Carga hidráulica vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 26.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 40°. Base vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 25 y 26.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

### 3.1.2. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 35°.

#### 3.1.2.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

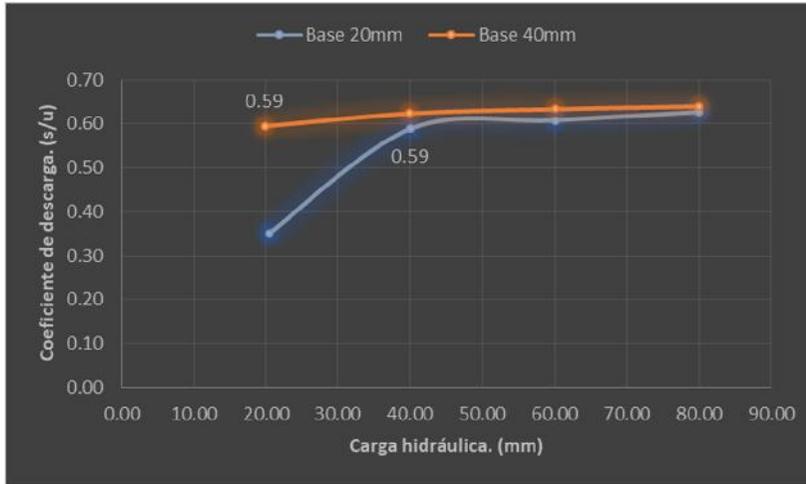


Gráfico 27.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

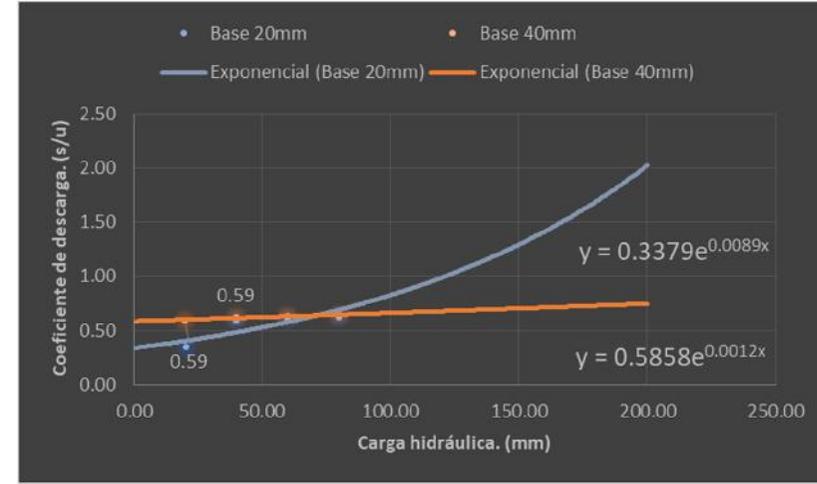


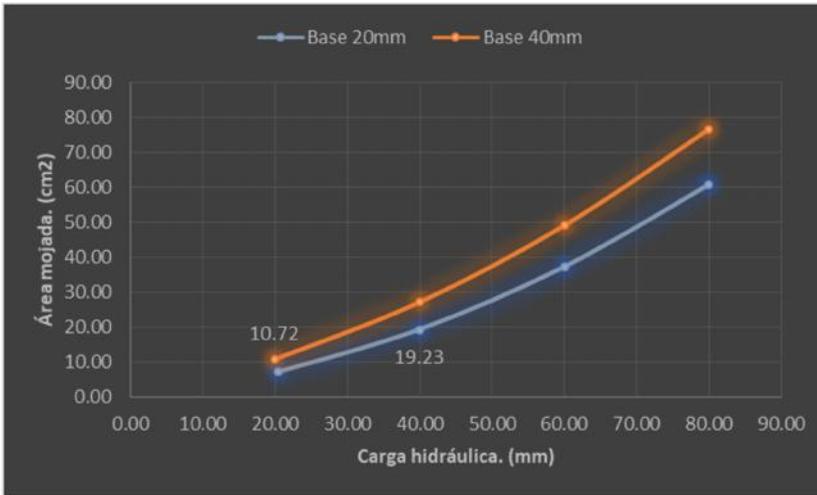
Gráfico 28.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

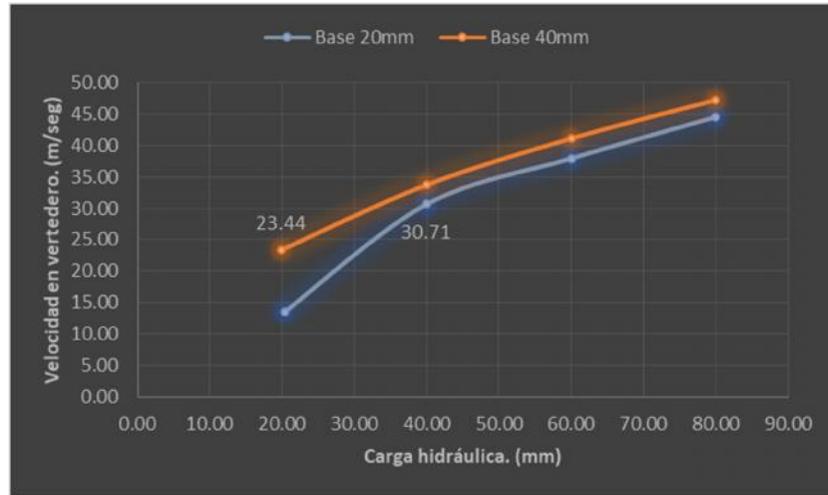
#### Explicación comparativa de las curvas 27 y 28.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.59
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.59
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan igual.
- En el gráfico de la curva 28 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 29.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 30.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 29 y 30.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 10.72 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 19.23 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 23.44 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 30.71 m/seg.

### 3.1.2.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.

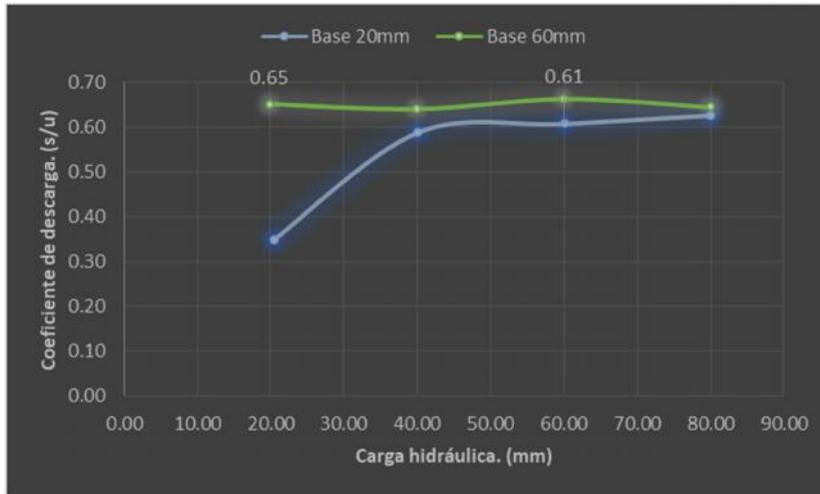


Gráfico 31.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

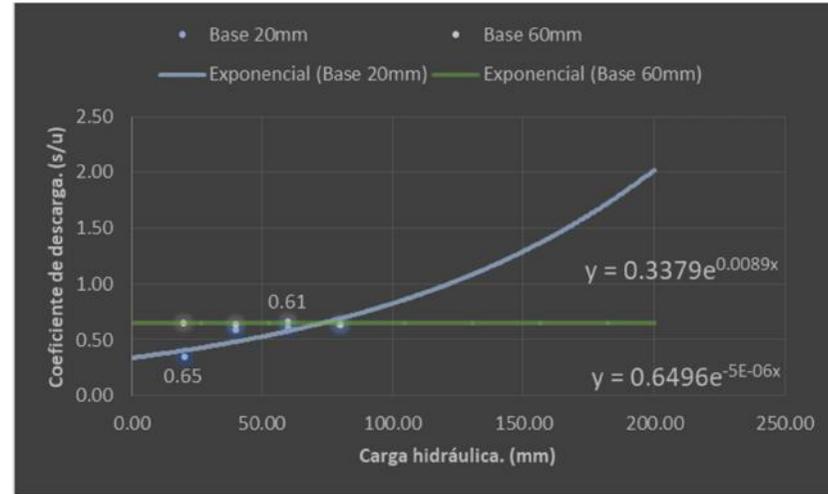


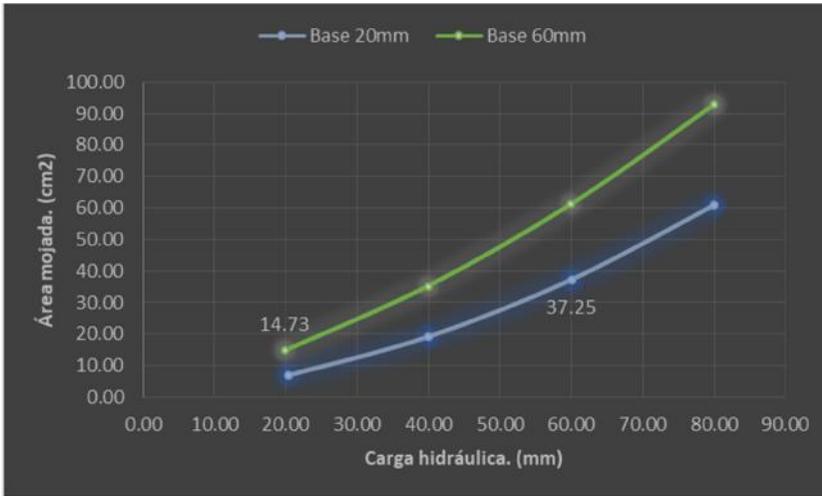
Gráfico 32.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

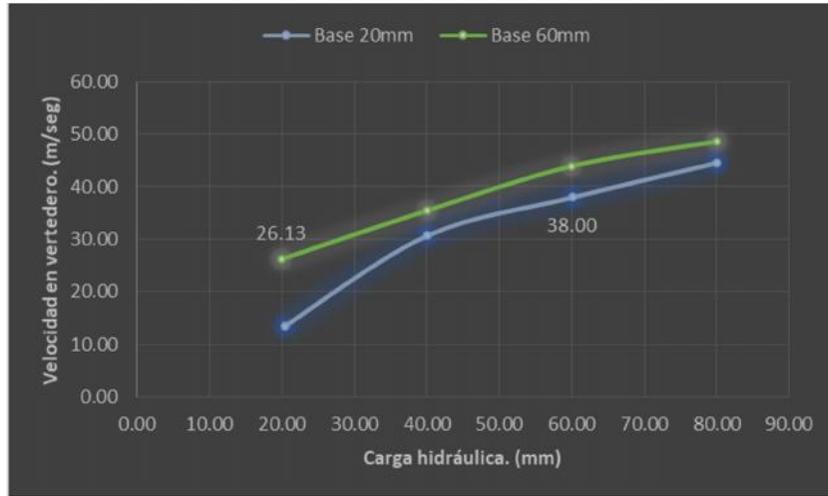
#### Explicación comparativa de las curvas 31 y 32.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.61
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 32 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 33.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 34.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### **Explicación comparativa de las curvas 33 y 34.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 14.73 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 37.25 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 26.13 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 38.00 m/seg.

### 3.1.2.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

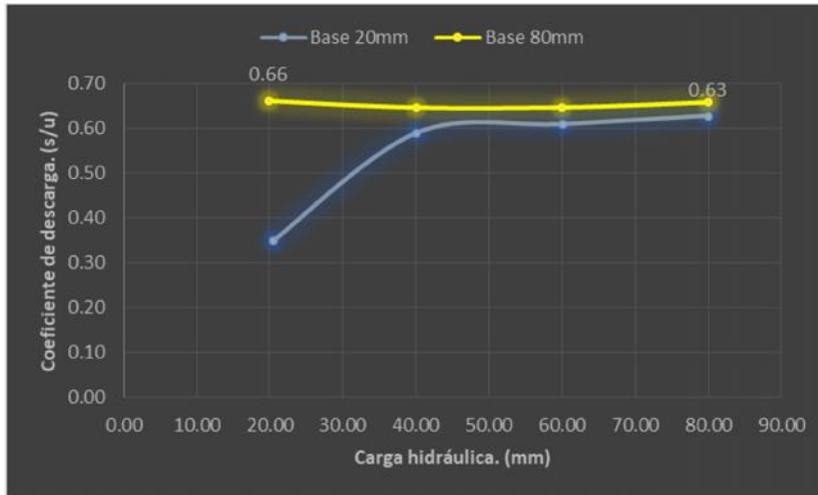


Gráfico 35.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

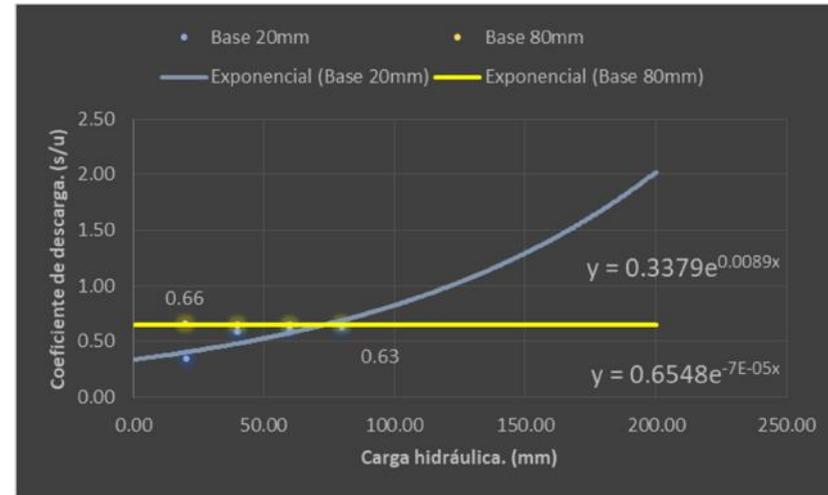


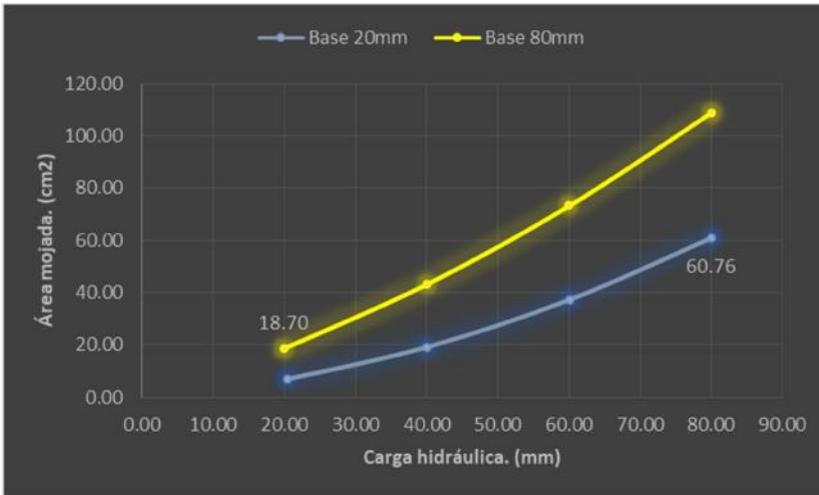
Gráfico 36.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 35 y 36.

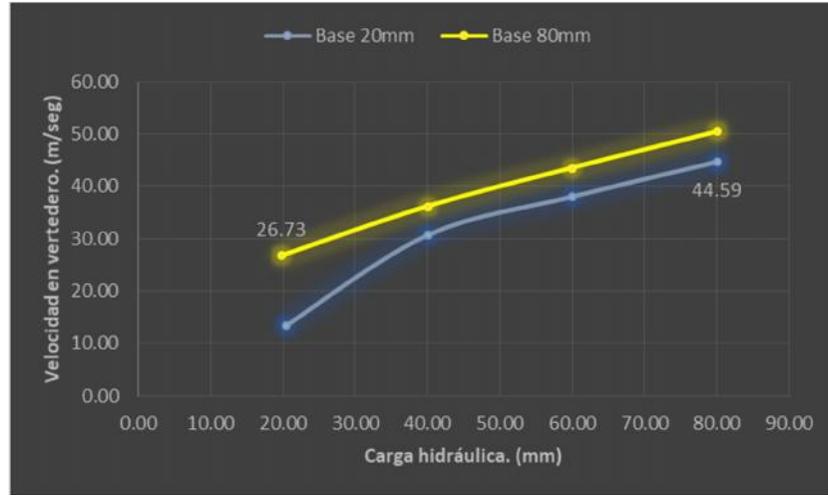
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.66
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 36 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 37.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**



**Gráfico 38.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.**

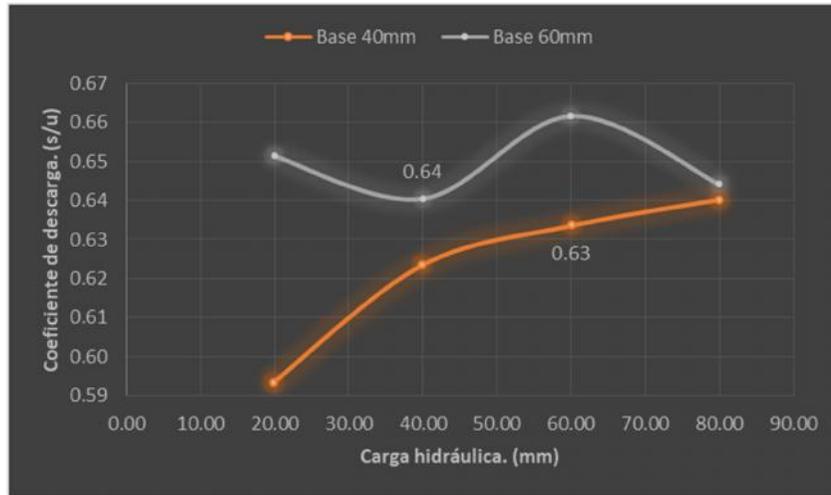
**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

**Explicación comparativa de las curvas 37 y 38.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

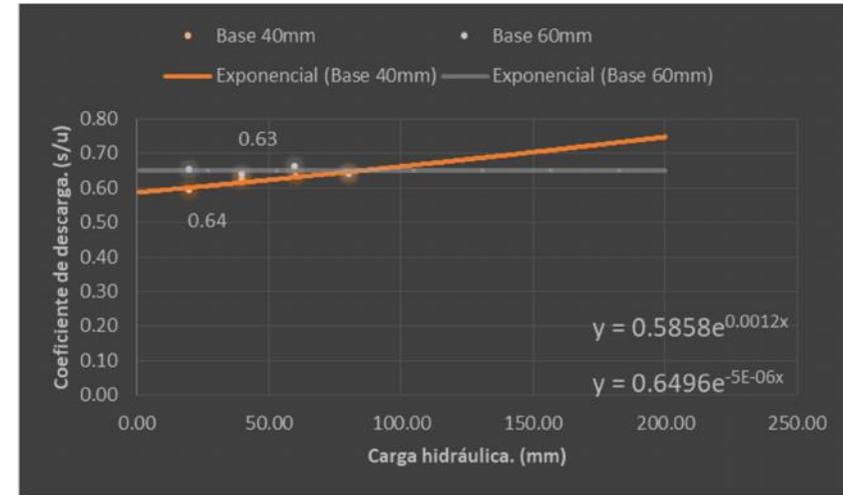
- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 18.70 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 60.76 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 26.73 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 44.59 m/seg.

### 3.1.2.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.



**Gráfico 39.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



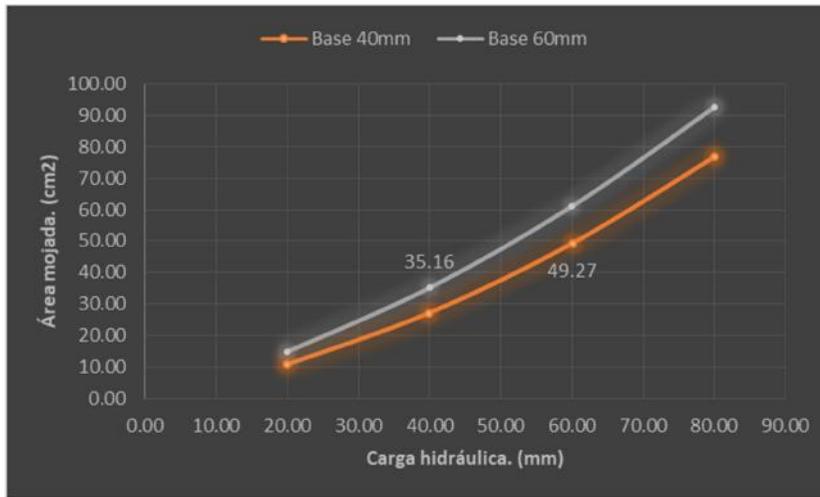
**Gráfico 40.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

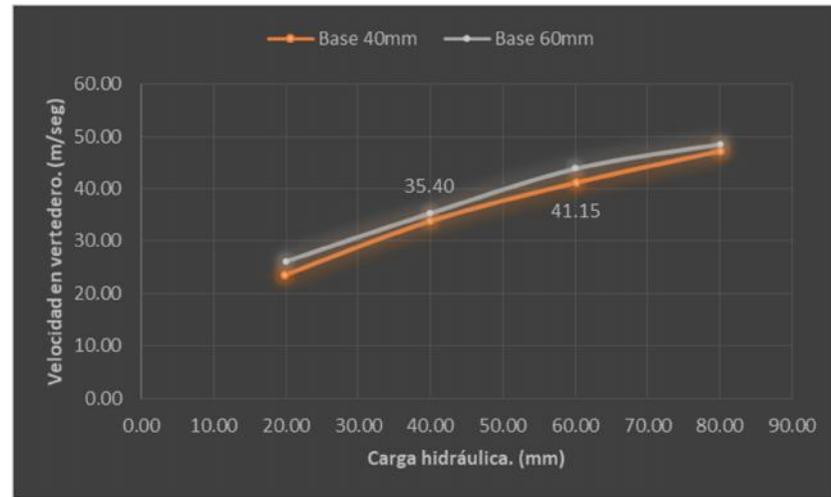
#### Explicación comparativa de las curvas 39 y 40.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.64
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 40 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 41.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 42.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 41 y 42.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 35.16 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 49.27 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 35.40m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 41.15 m/seg.

### 3.1.2.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

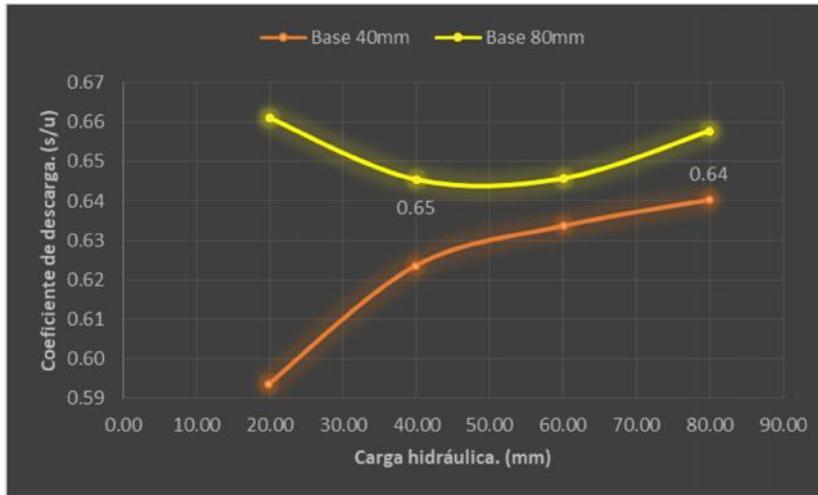


Gráfico 43.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

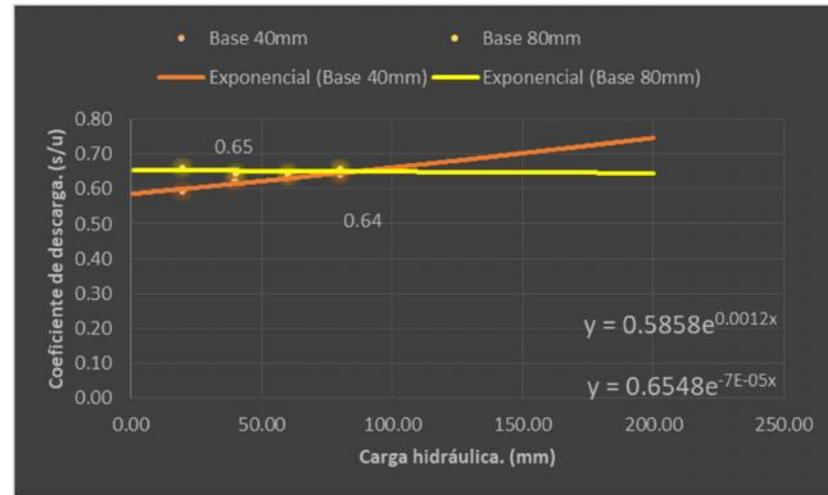


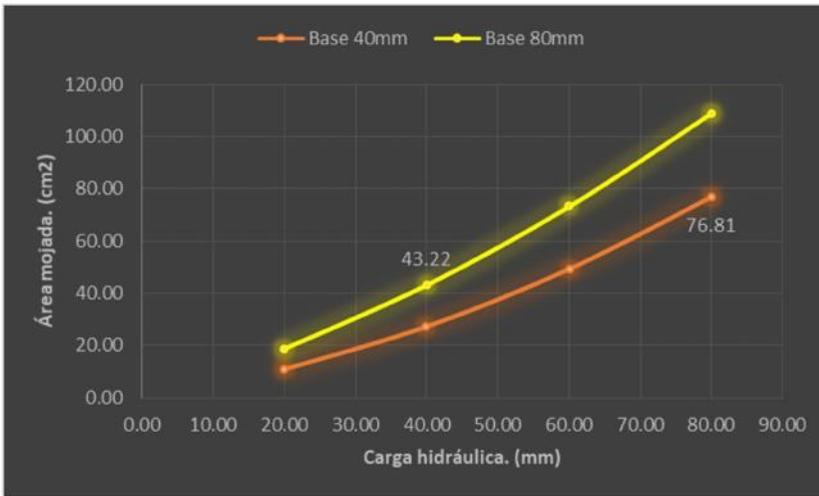
Gráfico 44.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 43 y 44.

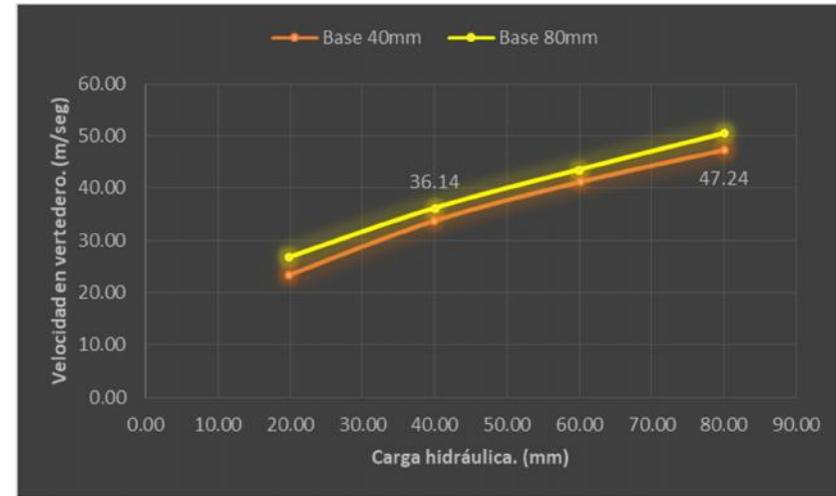
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 44 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 45.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 46.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

### Explicación comparativa de las curvas 45 y 46.

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 43.22 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 76.81 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 36.14 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 47.24 m/seg.

### 3.1.2.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

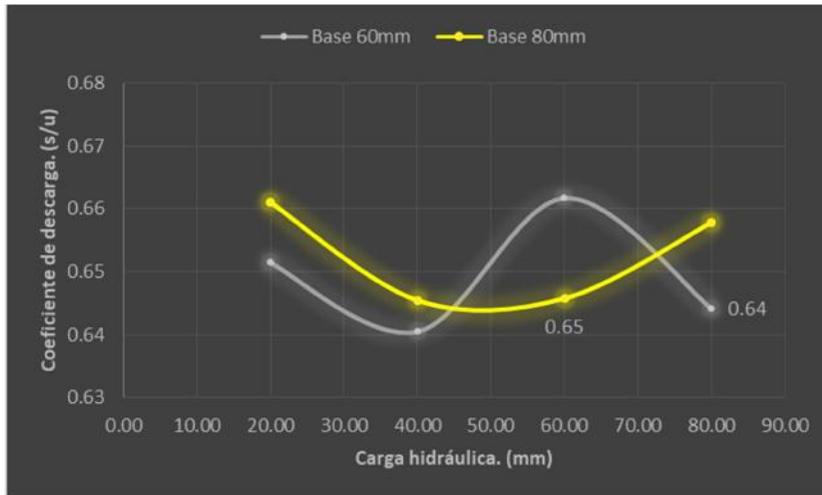


Gráfico 47.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

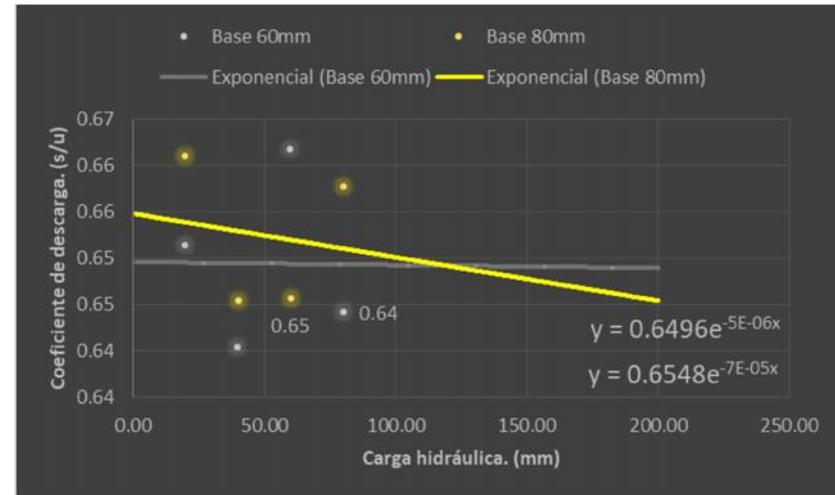
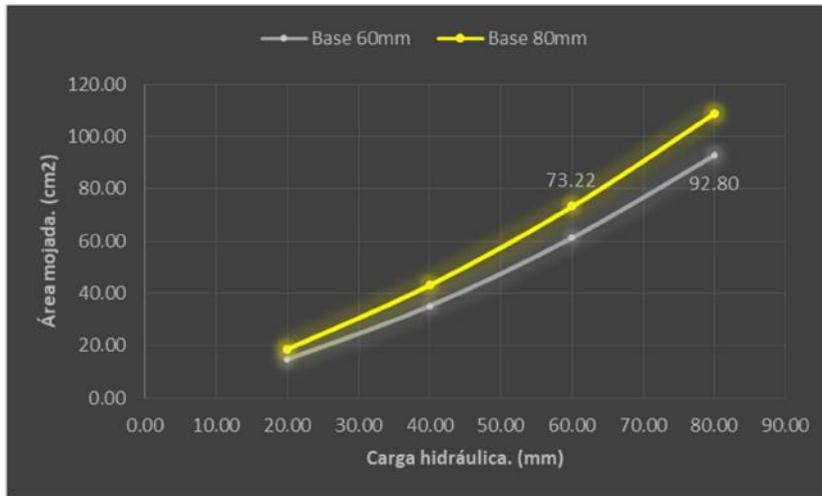


Gráfico 48.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

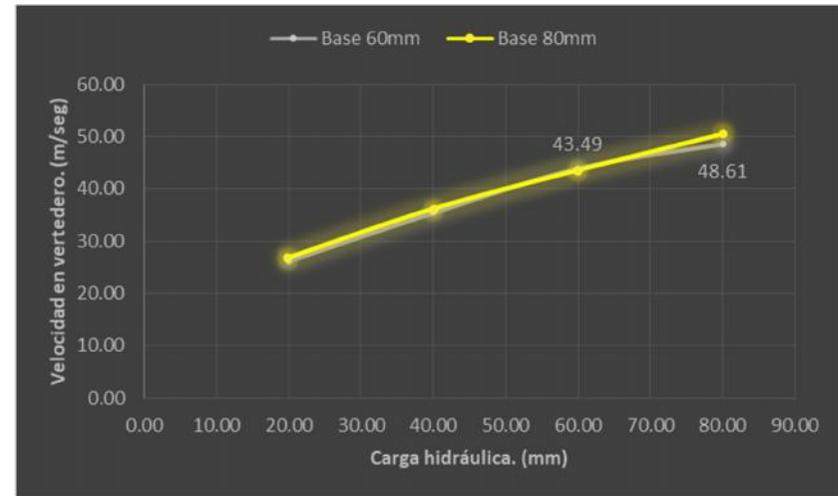
#### Explicación comparativa de las curvas 47 y 48.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 48 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 49.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



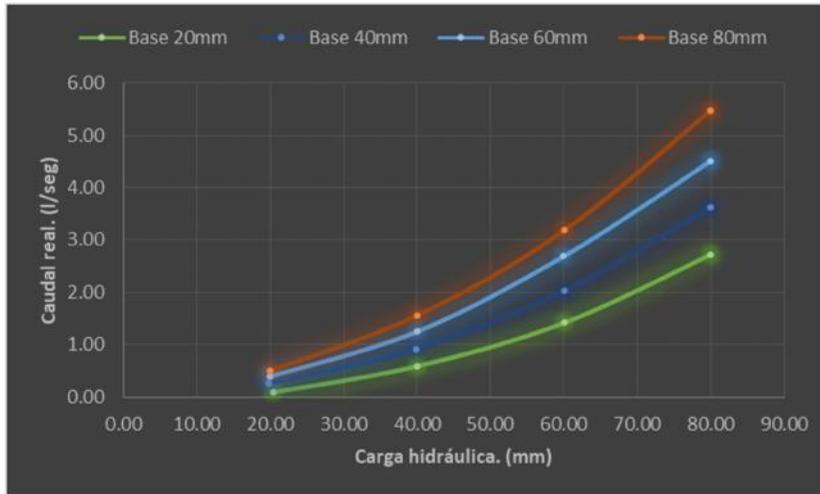
**Gráfico 50.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

### Explicación comparativa de las curvas 49 y 50.

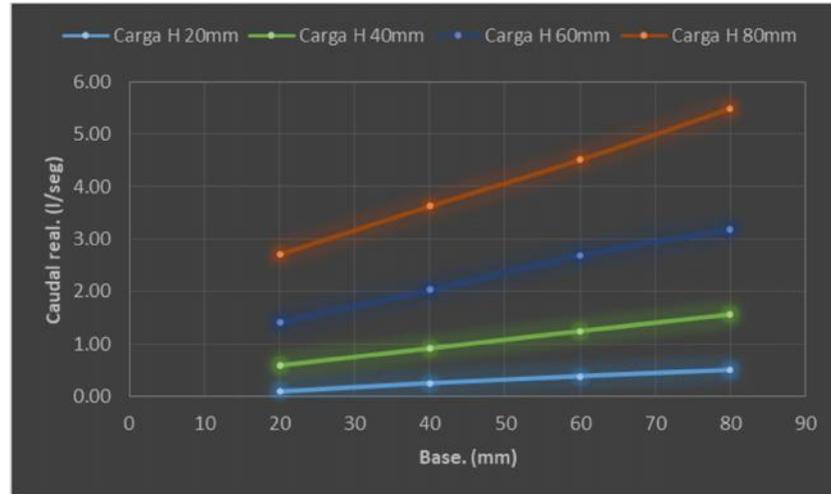
Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 73.22 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 92.80 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 43.49 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 48.61 m/seg.

### 3.1.2.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapecoidal de apertura 35°.



**Gráfico 51.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 35°.**  
**Carga hidráulica vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 52.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 35°.**  
**Base vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 51 y 52.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

### 3.1.3. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 30°.

#### 3.1.3.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

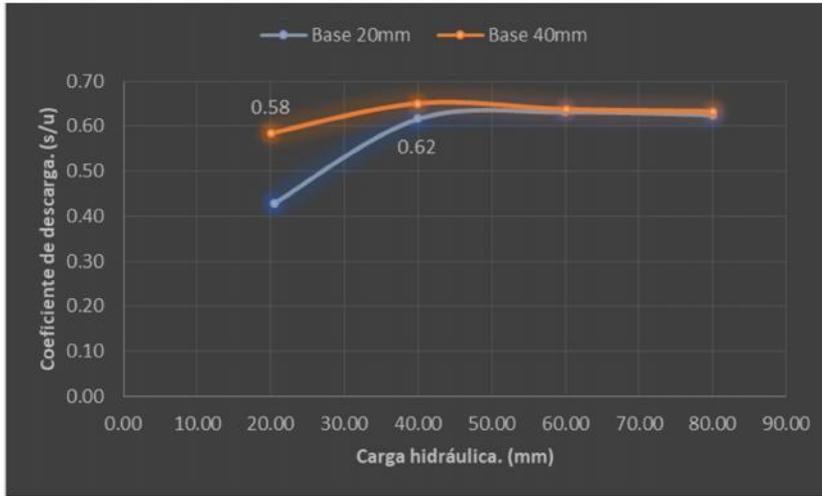


Gráfico 53.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

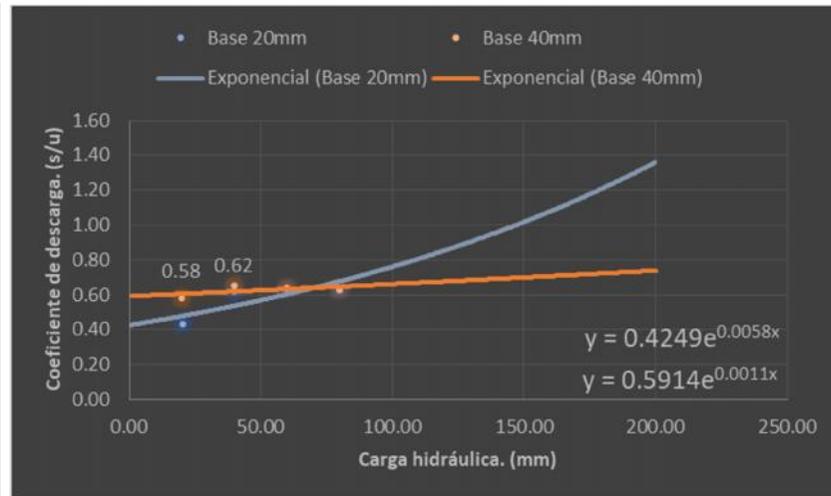


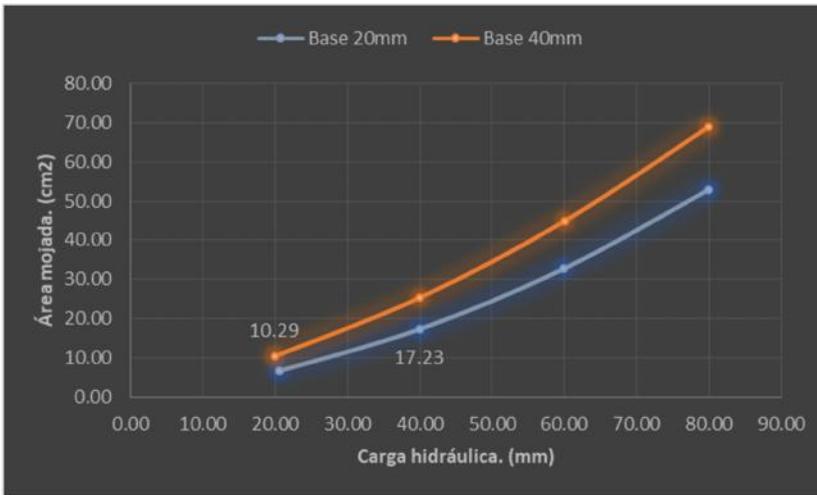
Gráfico 54.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

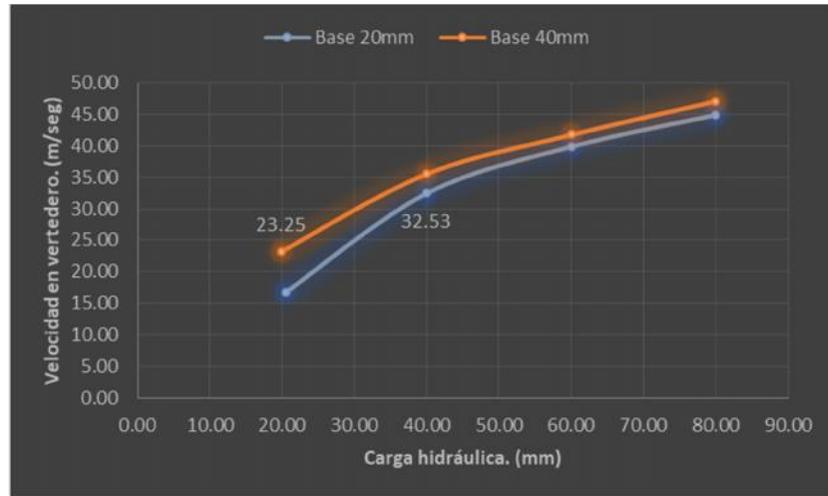
#### Explicación comparativa de las curvas 53 y 54.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.58
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 54 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 55.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 56.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 55 y 56.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 10.29 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 17.23 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 23.25 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 32.53 m/seg.

### 3.1.3.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.

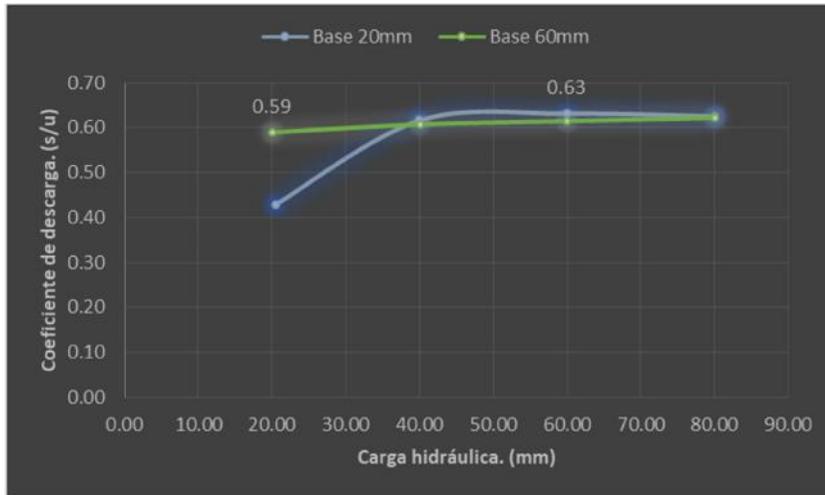


Gráfico 57.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

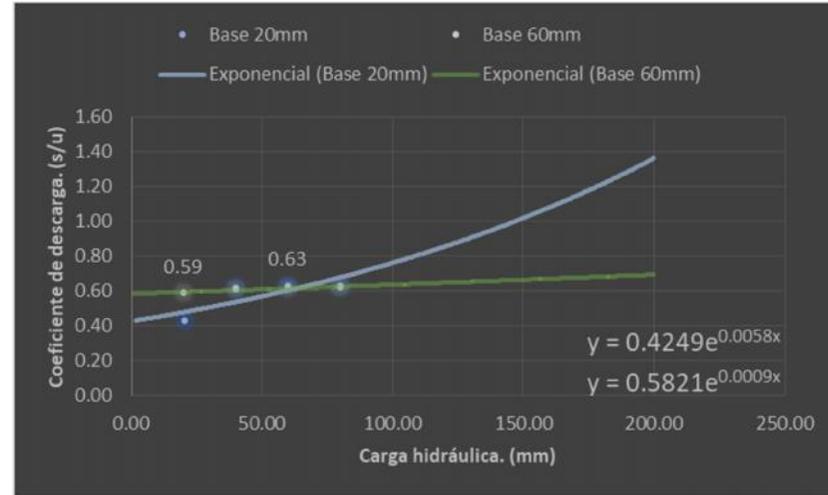
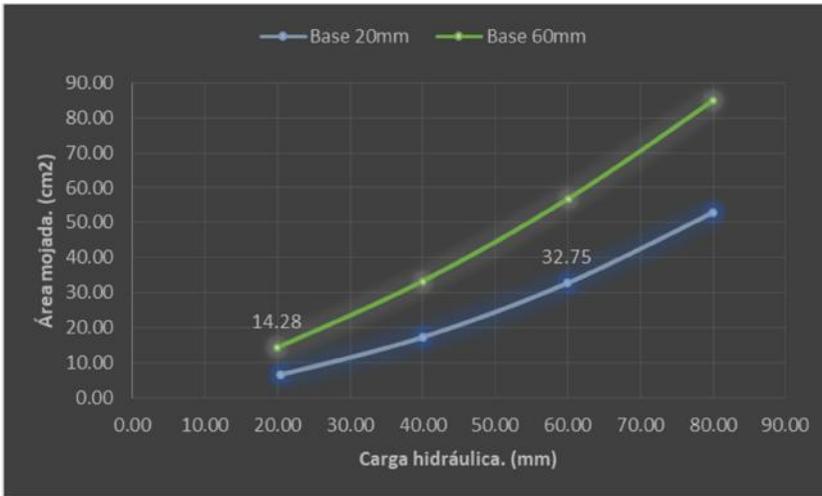


Gráfico 58.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

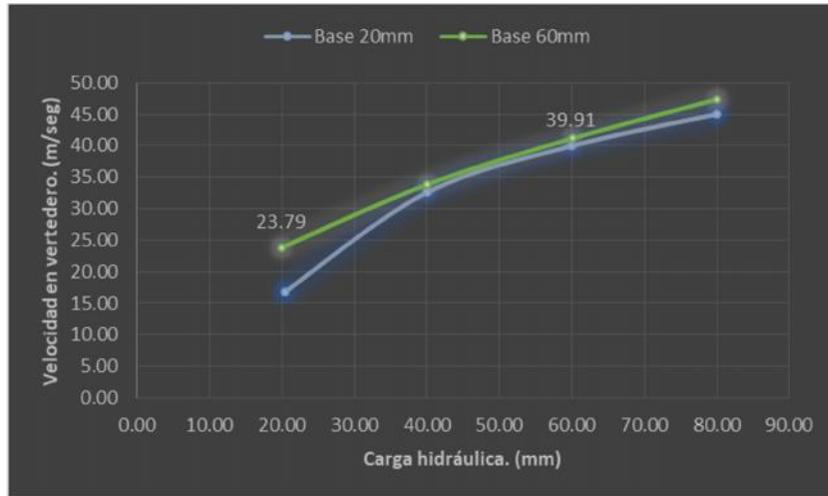
#### Explicación comparativa de las curvas 57 y 58.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.59
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 58 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 59.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 60.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 59 y 60.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 14.28 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 32.75 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 23.79 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 39.91 m/seg.

### 3.1.3.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

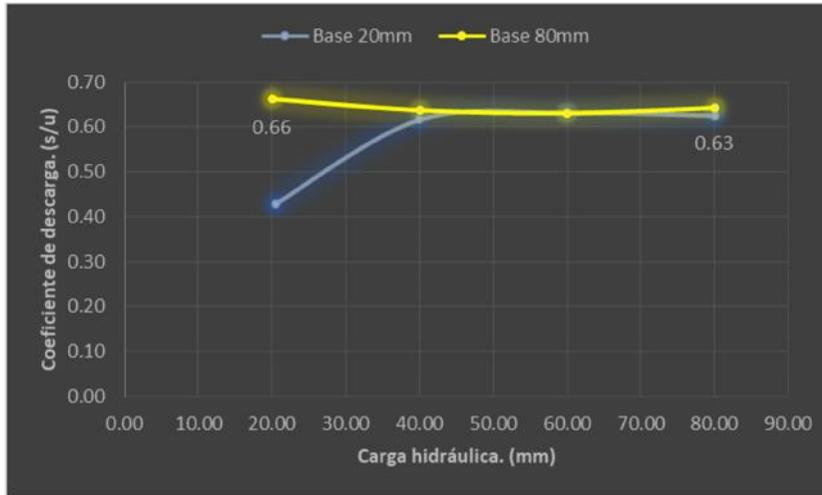


Gráfico 61.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

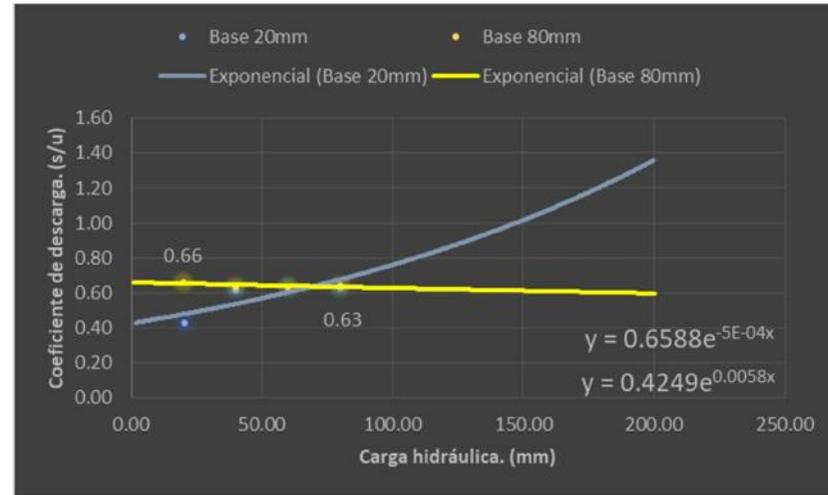
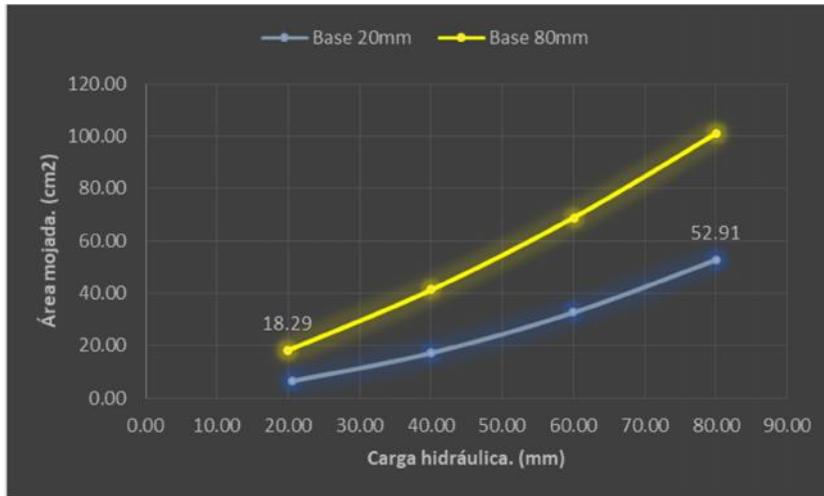


Gráfico 62.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

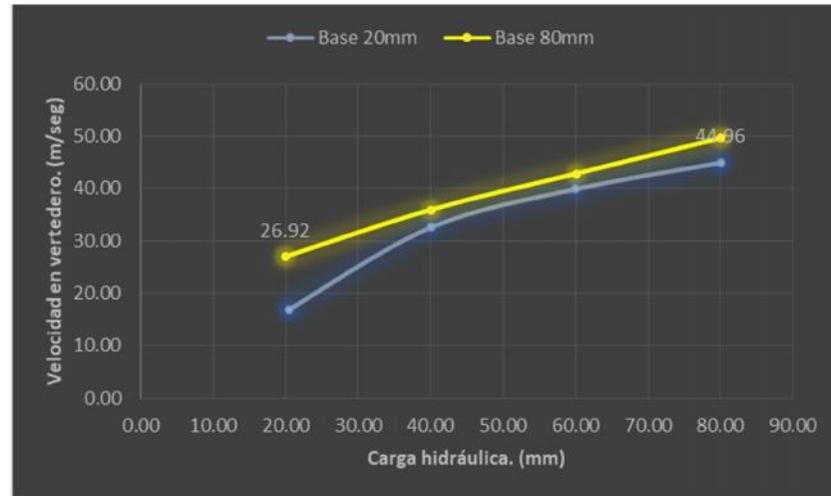
#### Explicación comparativa de las curvas 61 y 62.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.66
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 62 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 63.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 64.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 63 y 64.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 18.29 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 52.91 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 26.92 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 44.96 m/seg.

### 3.1.3.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.

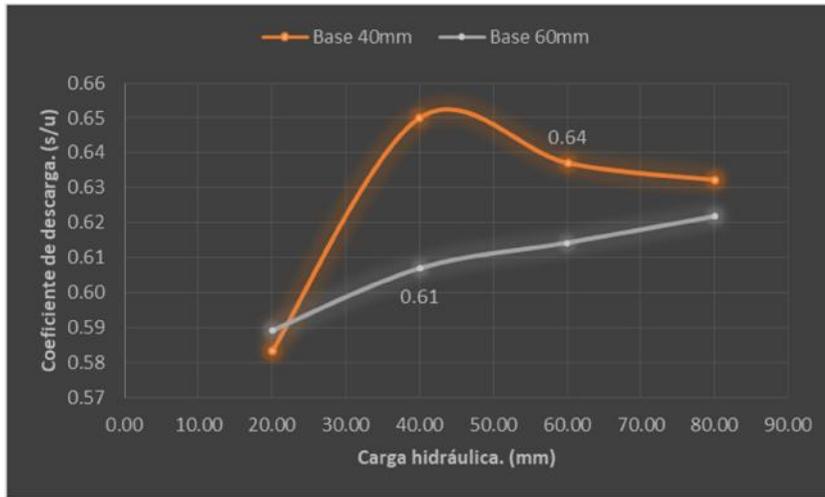


Gráfico 65.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

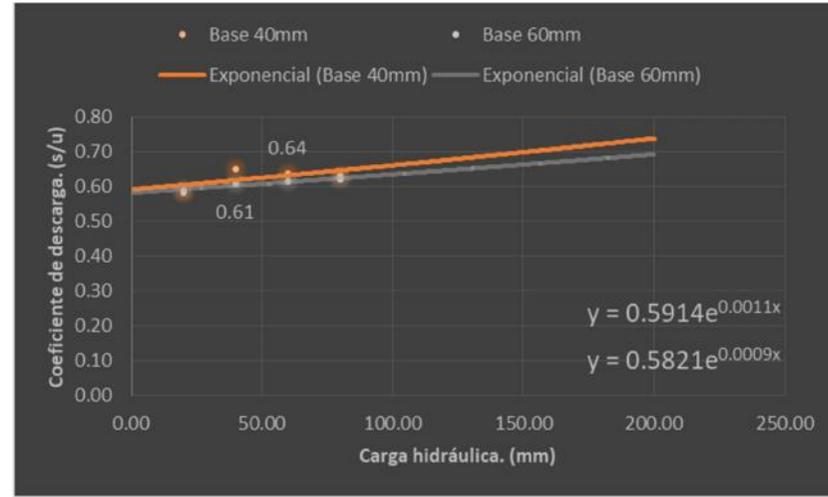


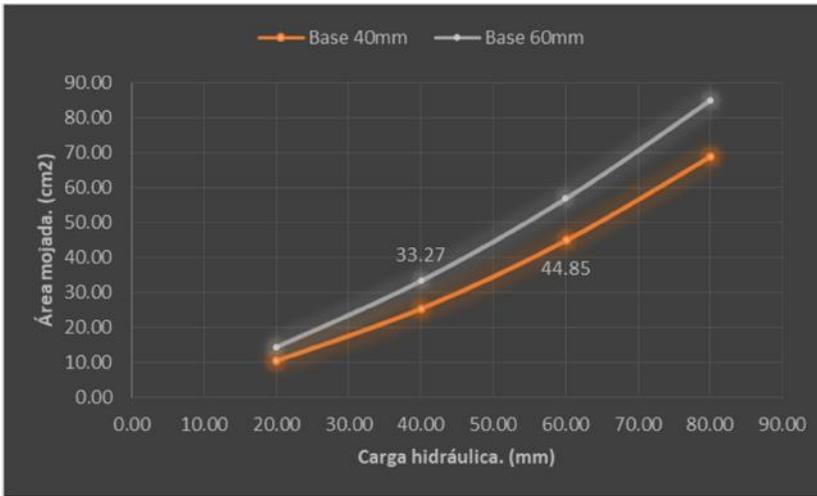
Gráfico 66.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

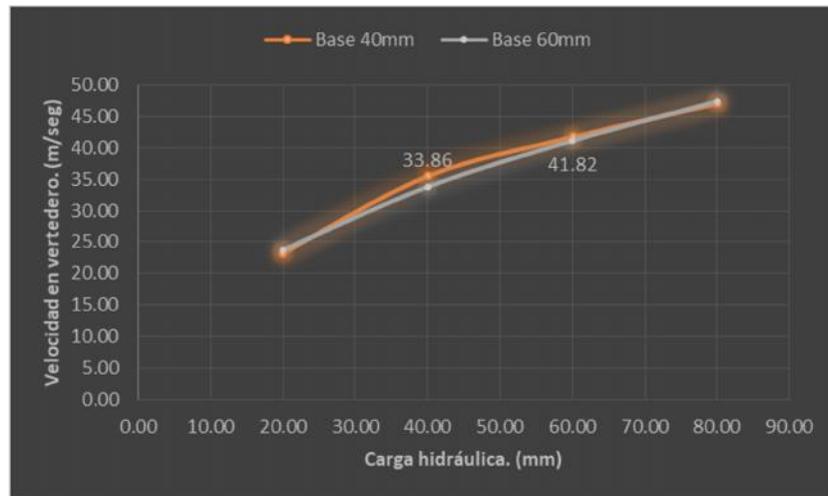
#### Explicación comparativa de las curvas 65 y 66.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.61
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 66 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 67.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 68.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 67 y 68.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 33.27 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 44.85 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 33.86 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 41.82 m/seg.

### 3.1.3.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

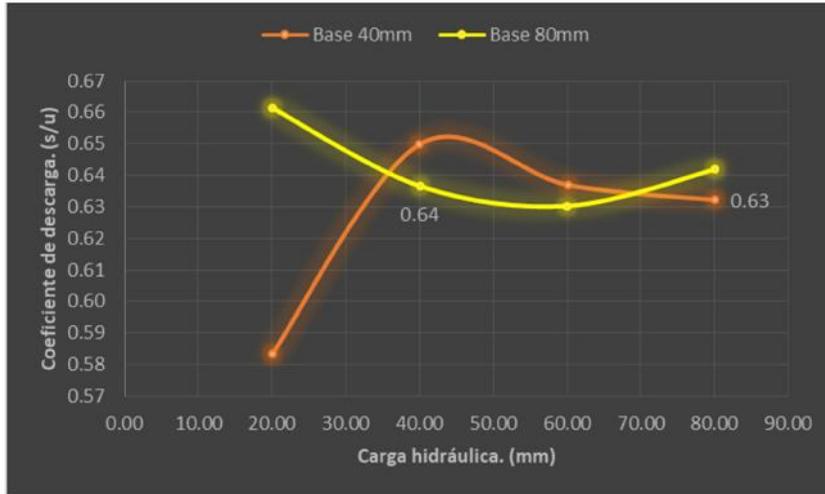


Gráfico 69.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

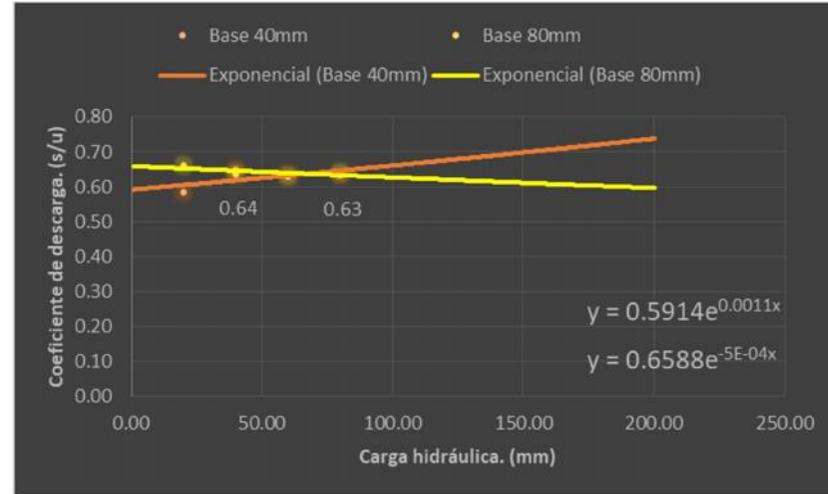


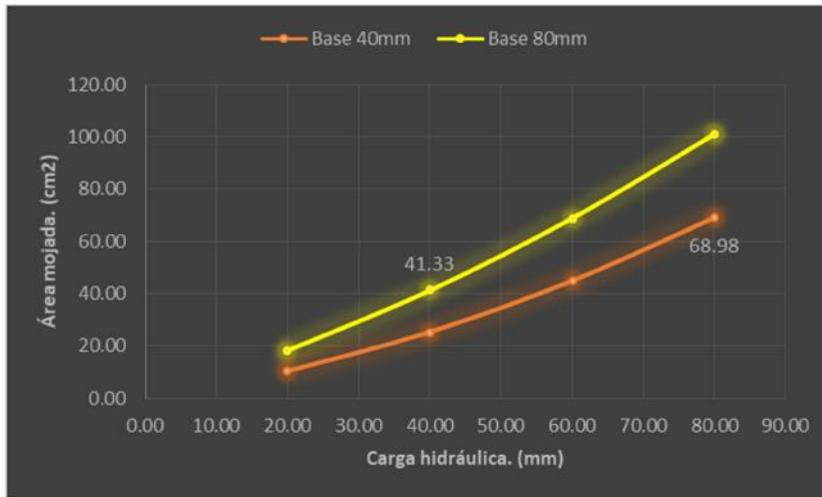
Gráfico 70.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

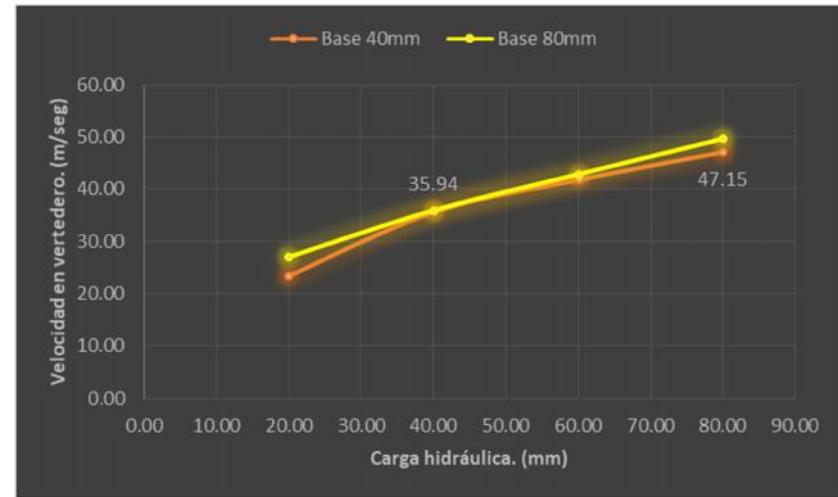
#### Explicación comparativa de las curvas 69 y 70.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.64
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 70 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 71.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 72.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 71 y 72.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 41.33cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 68.98 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 35.94 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 47.15 m/seg.

### 3.1.3.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

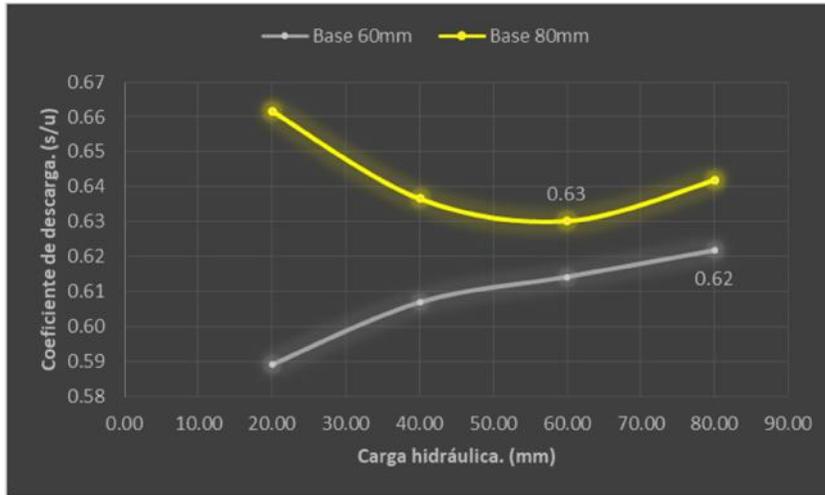


Gráfico 73.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

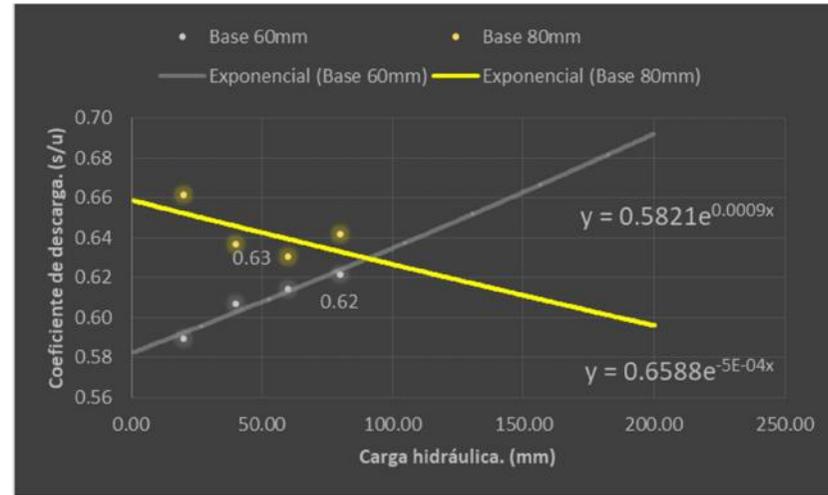
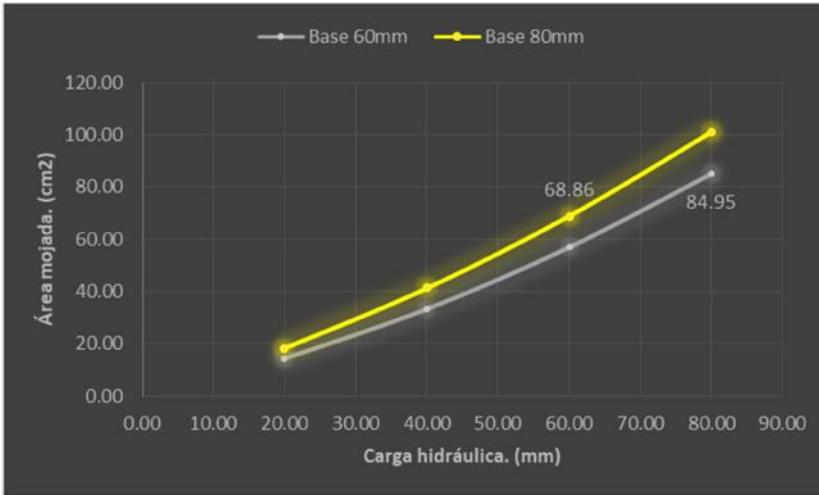


Gráfico 74.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

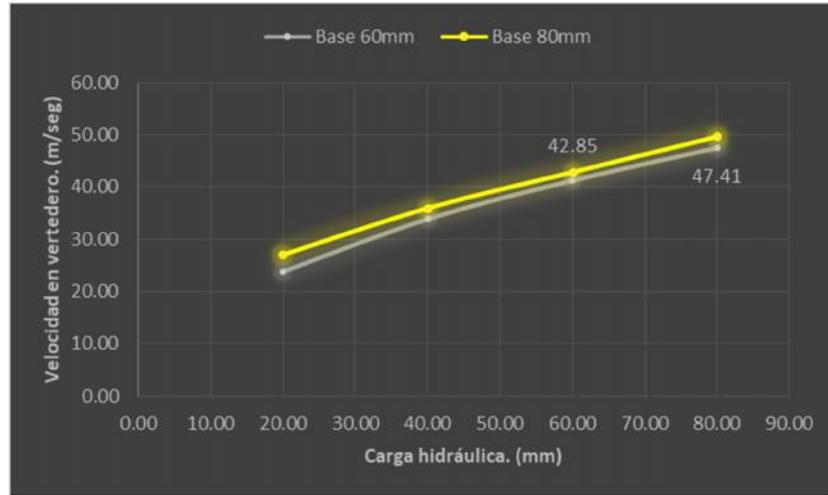
#### Explicación comparativa de las curvas 73 y 74.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 74 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 75.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



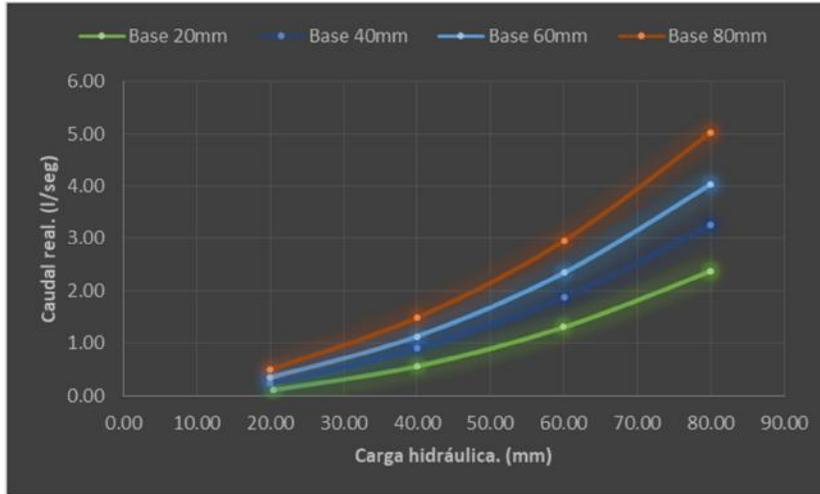
**Gráfico 76.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 75 y 76.**

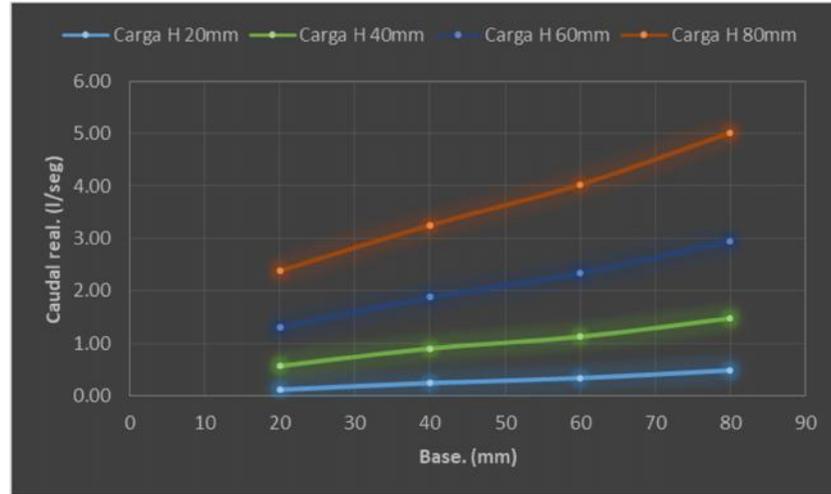
Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 68.86 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 84.95 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 42.85 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 47.41 m/seg.

### 3.1.3.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 30°.



**Gráfico 77.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 30°. Carga hidráulica vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 78.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 30°. Base vs Caudal real.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 77 y 78.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

### 3.1.4. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 25°.

#### 3.1.4.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

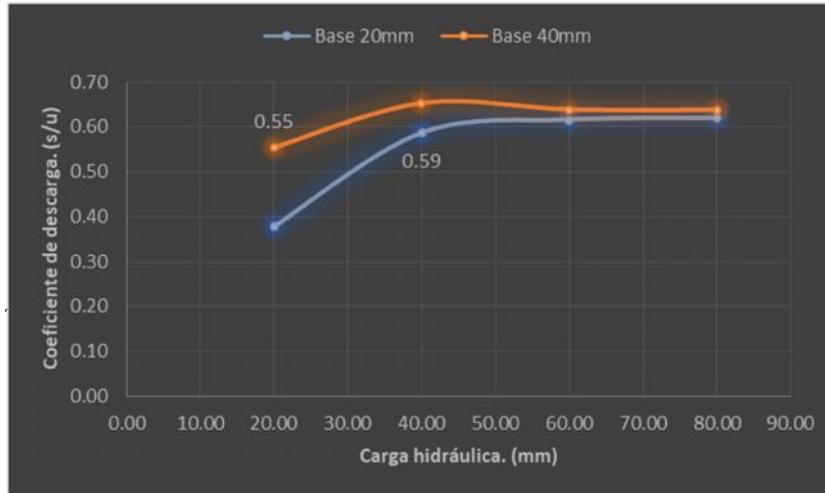


Gráfico 79.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

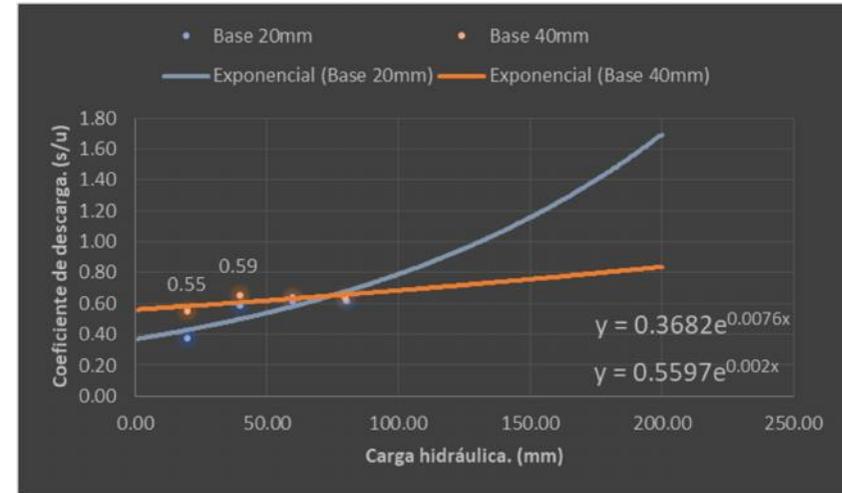


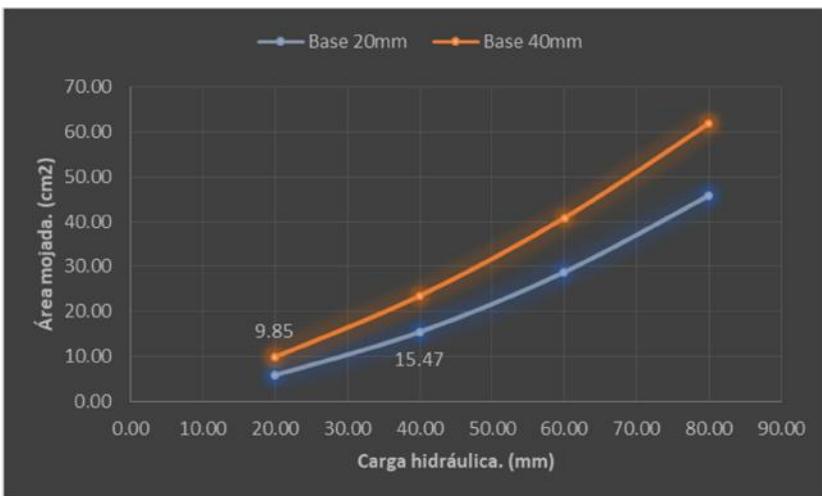
Gráfico 80.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 79 y 80.

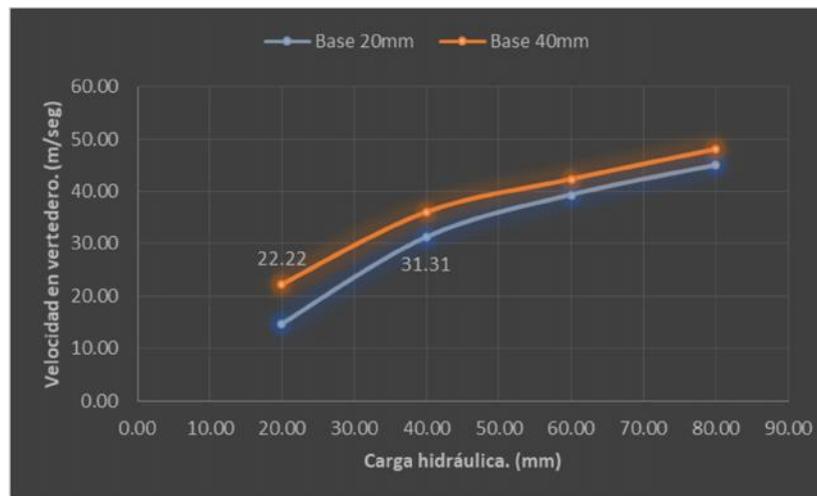
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.55
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.59
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 80 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 81.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 82.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

### Explicación comparativa de las curvas 81 y 82.

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 9.85 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 15.47 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 22.22 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 31.31 m/seg.

### 3.1.4.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.

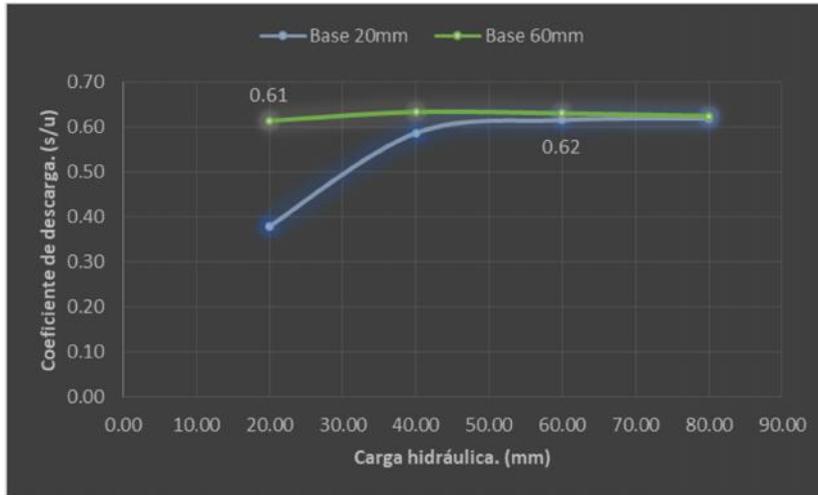


Gráfico 83.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

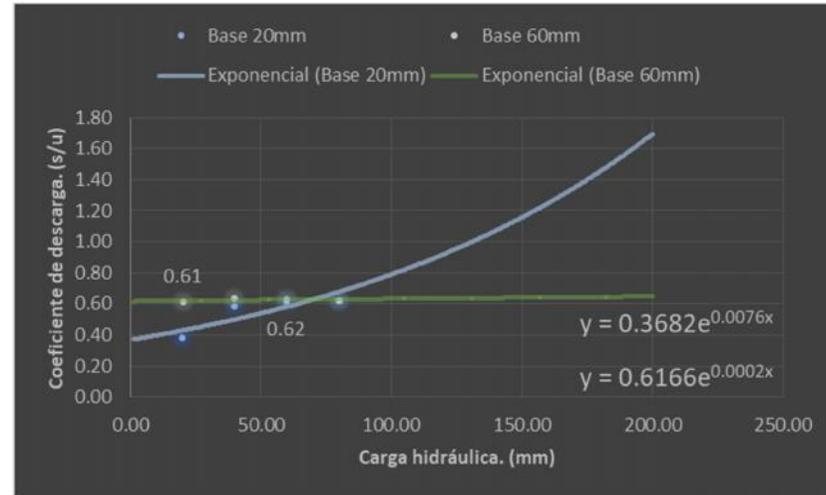


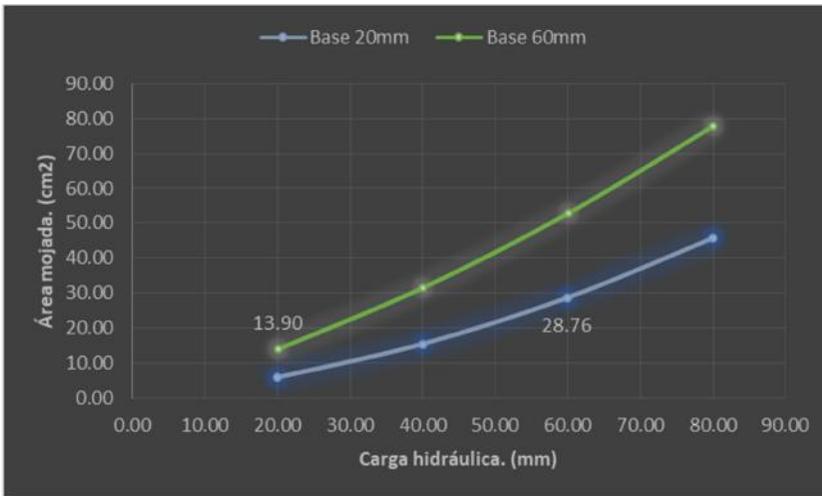
Gráfico 84.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 83 y 84.

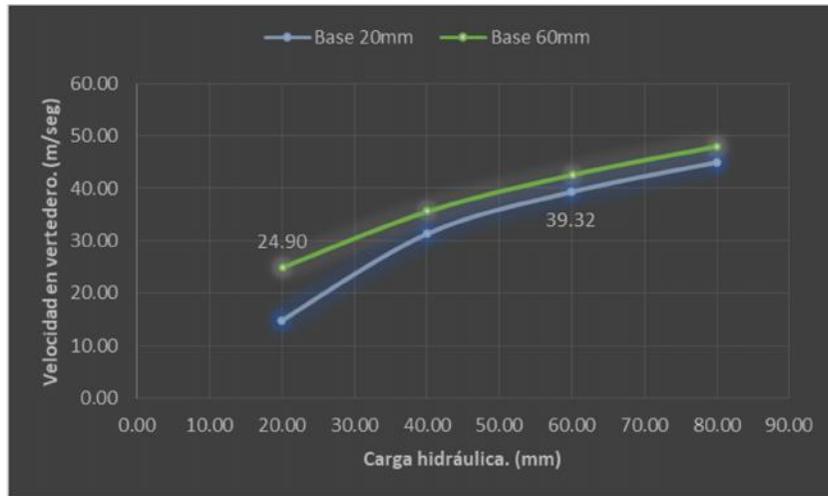
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.61
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 84 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 85.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 86.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

### Explicación comparativa de las curvas 85 y 86.

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 13.90 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 28.76 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 24.90 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 39.32 m/seg.

### 3.1.4.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

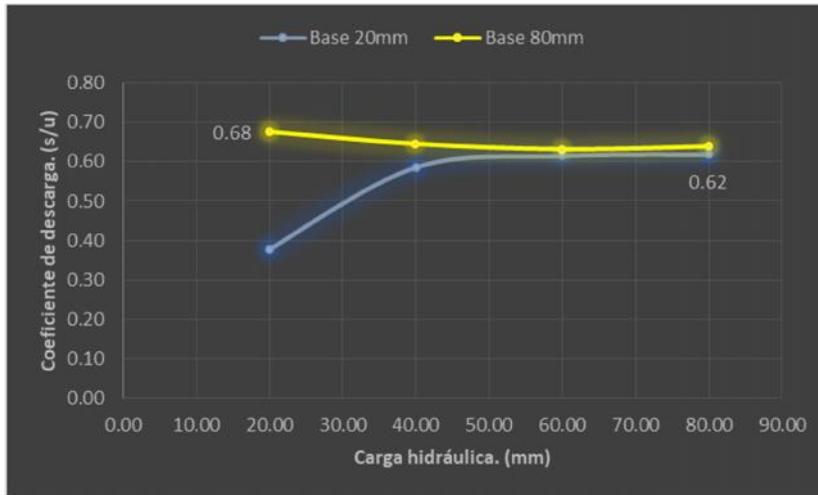


Gráfico 87.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

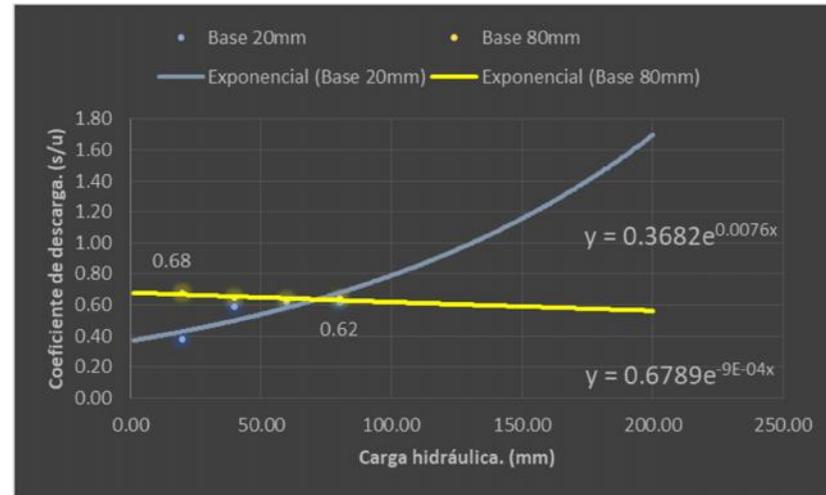


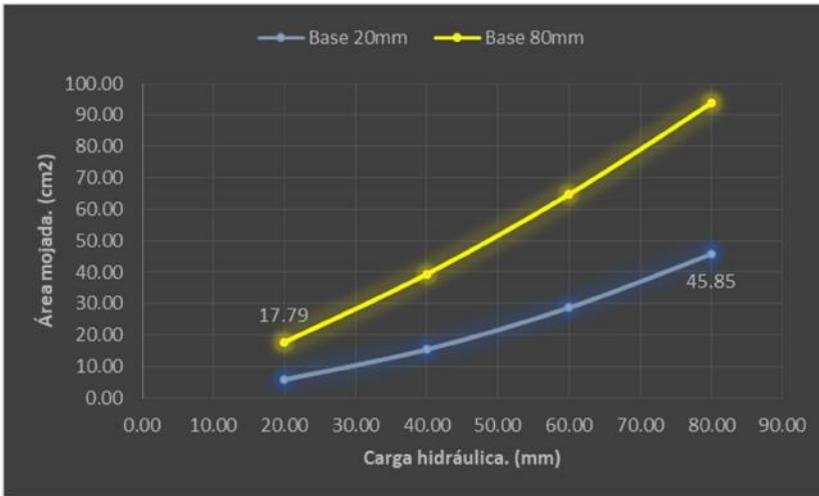
Gráfico 88.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 87 y 88.

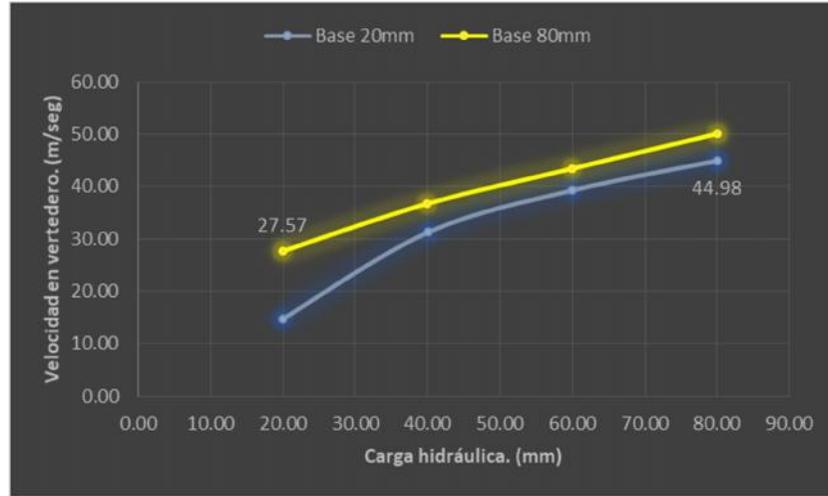
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.68
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 88 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 89.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 90.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.**

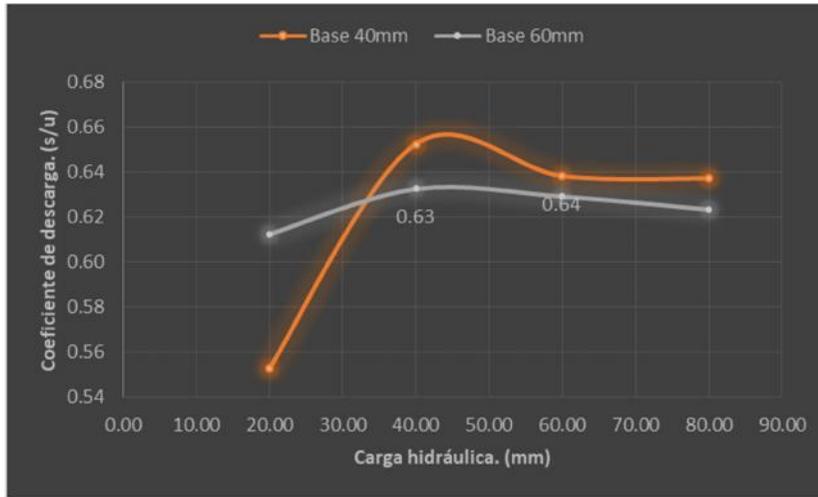
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 89 y 90.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

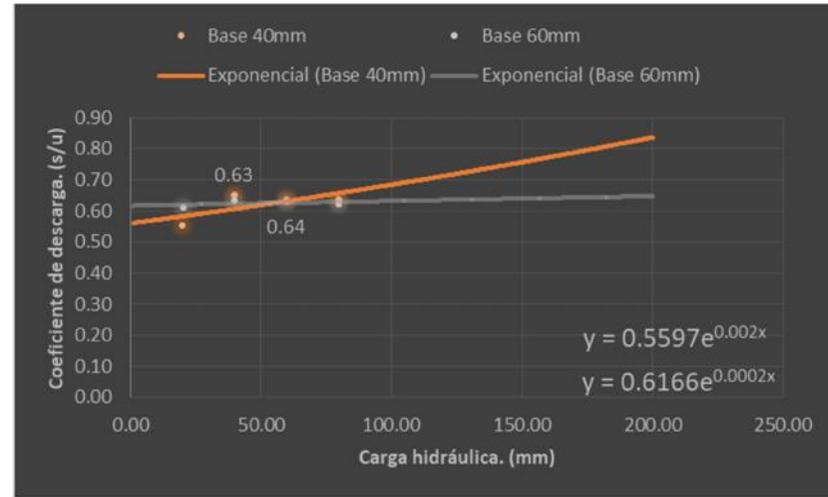
- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 17.79 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 45.85 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 27.57 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 44.98 m/seg.

### 3.1.4.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.



**Gráfico 91.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



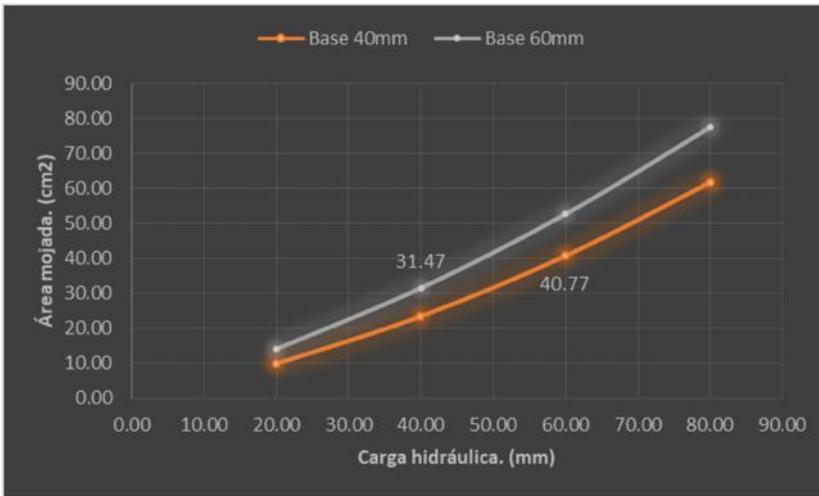
**Gráfico 92.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm.**

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

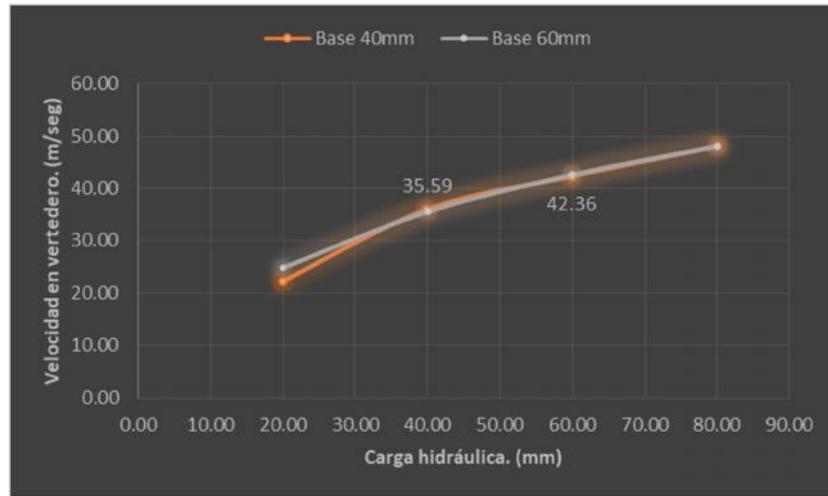
#### Explicación comparativa de las curvas 91 y 92.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 92 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 93.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 94.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 93 y 94.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 31.47 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 40.77 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 35.59 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 42.36 m/seg.

### 3.1.4.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

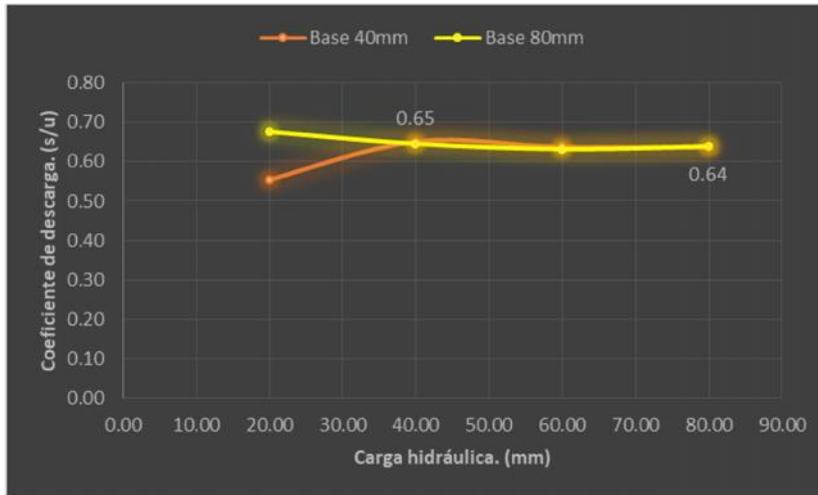


Gráfico 95.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

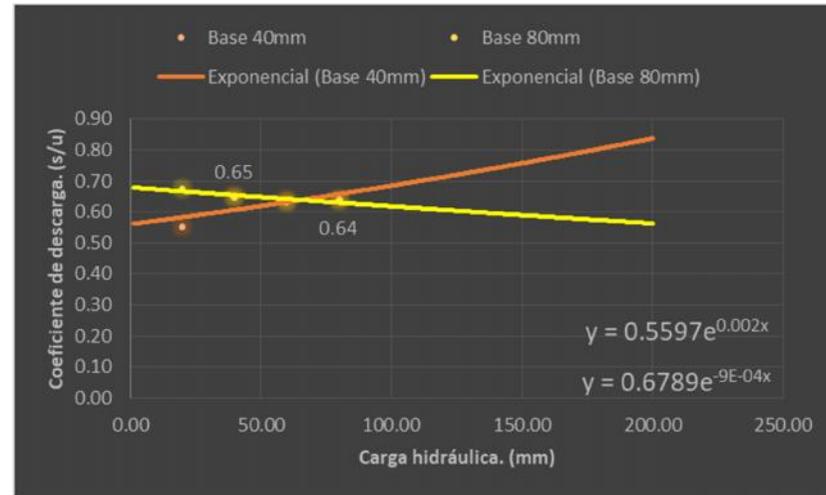


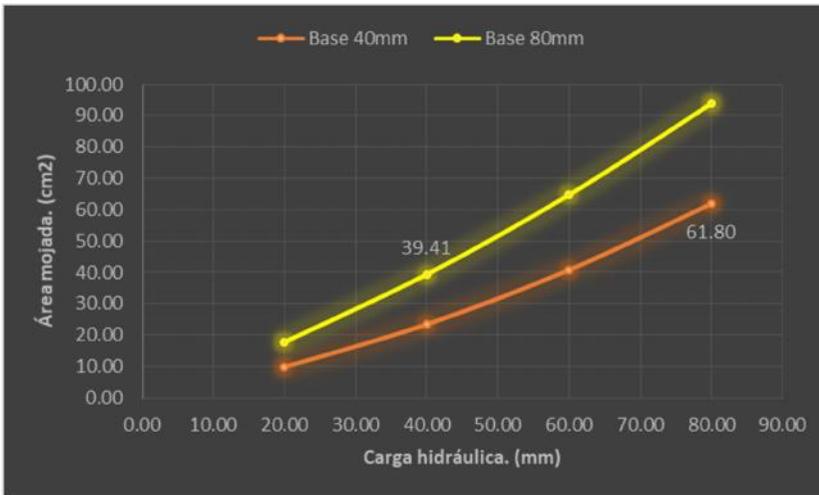
Gráfico 96.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

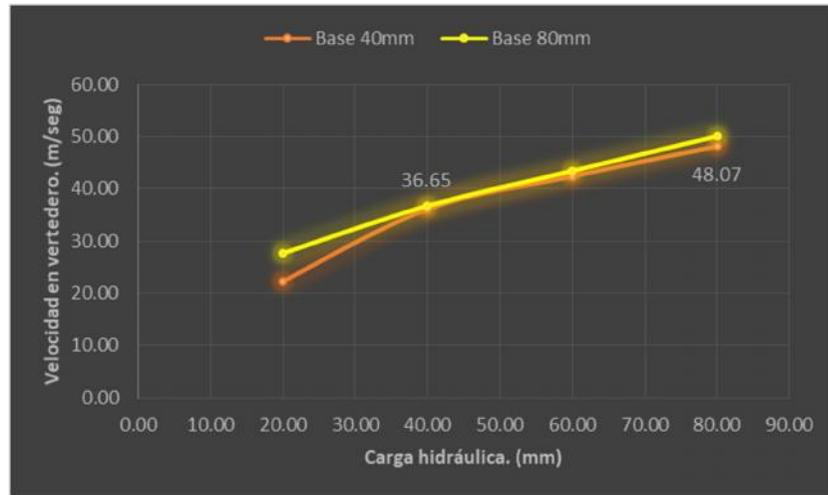
#### Explicación comparativa de las curvas 95 y 96.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 96 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 97.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 98.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 97 y 98.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 39.41 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 61.80 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 36.65 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 48.07 m/seg.

### 3.1.4.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

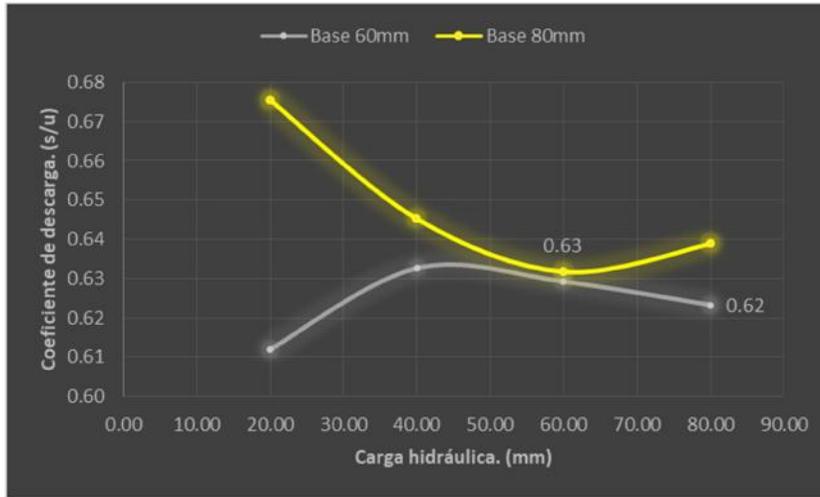


Gráfico 99.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

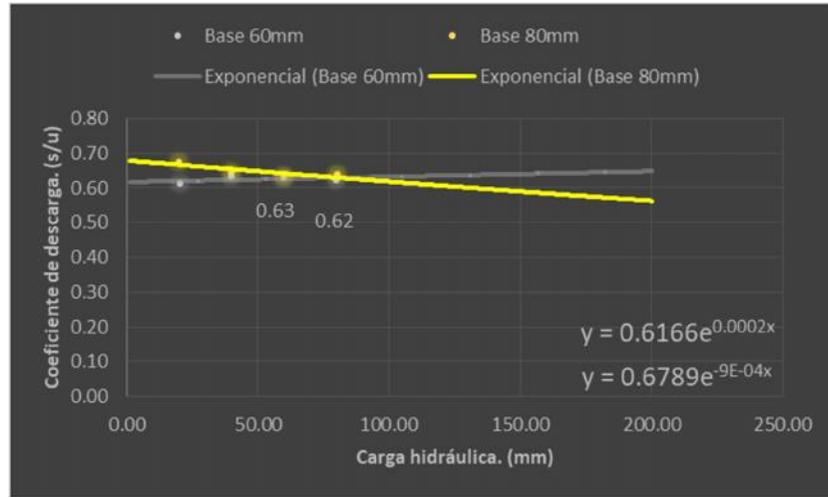


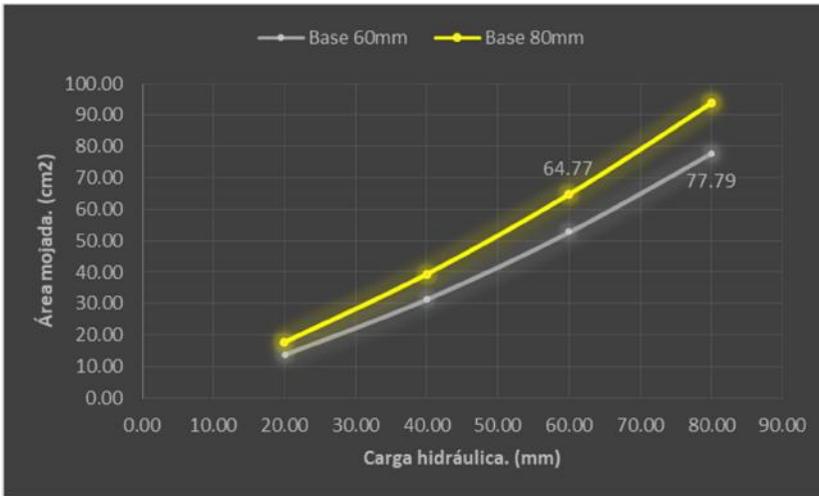
Gráfico 100.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

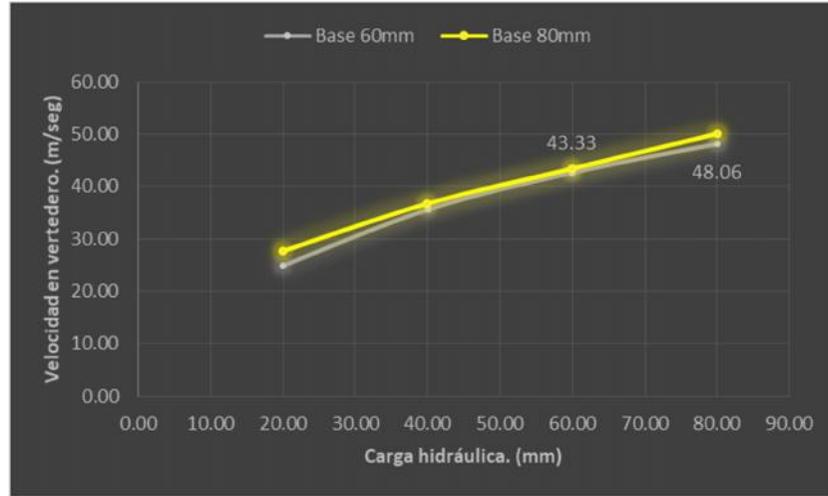
#### Explicación comparativa de las curvas 99 y 100.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 100 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 101.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 102.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 101 y 102.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 64.77 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 77.79 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 43.33 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 48.06 m/seg.

### 3.1.4.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapecoidal de apertura 25°.

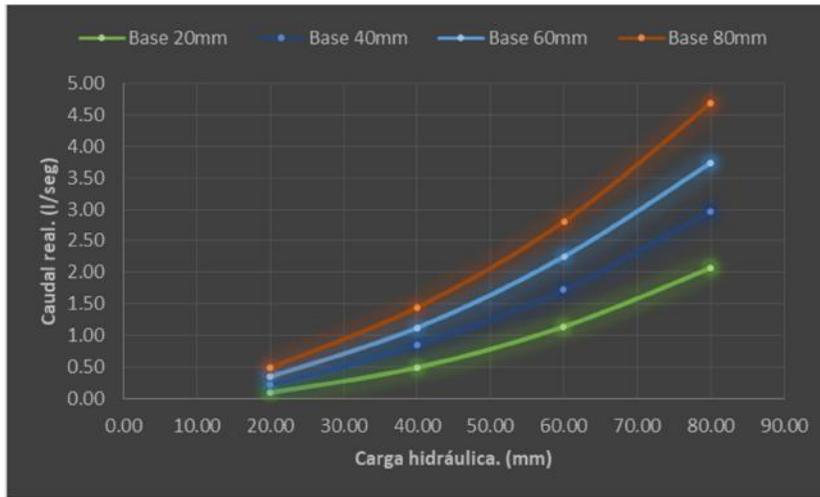


Gráfico 103.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 25°.

Carga hidráulica vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

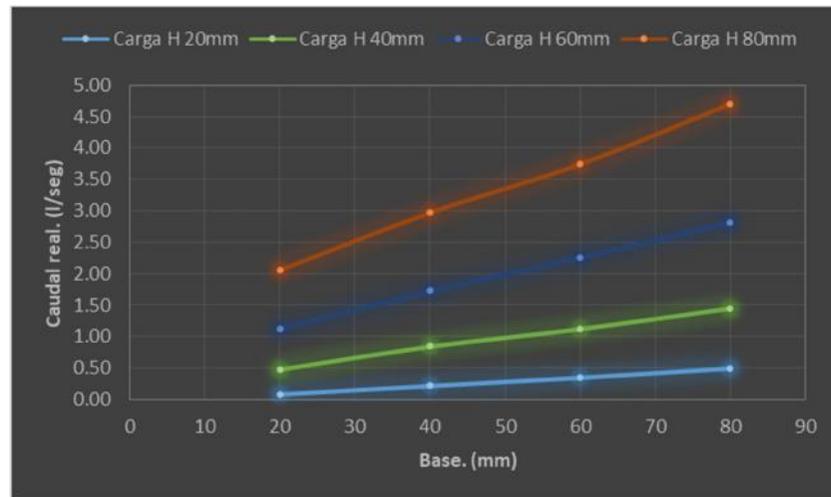


Gráfico 104.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 25°.

Base vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 103 y 104.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

### 3.1.5. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 20°.

#### 3.1.5.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

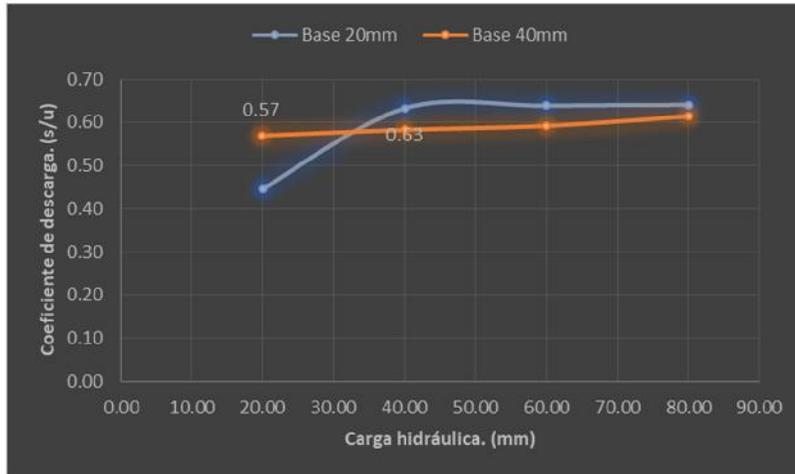


Gráfico 105.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

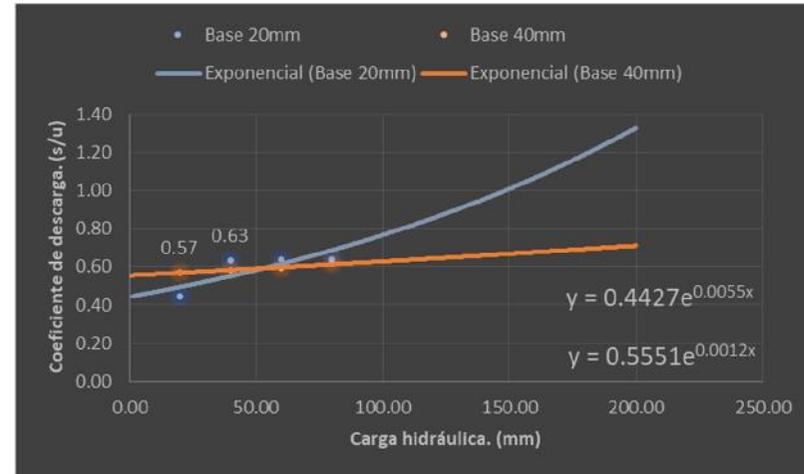


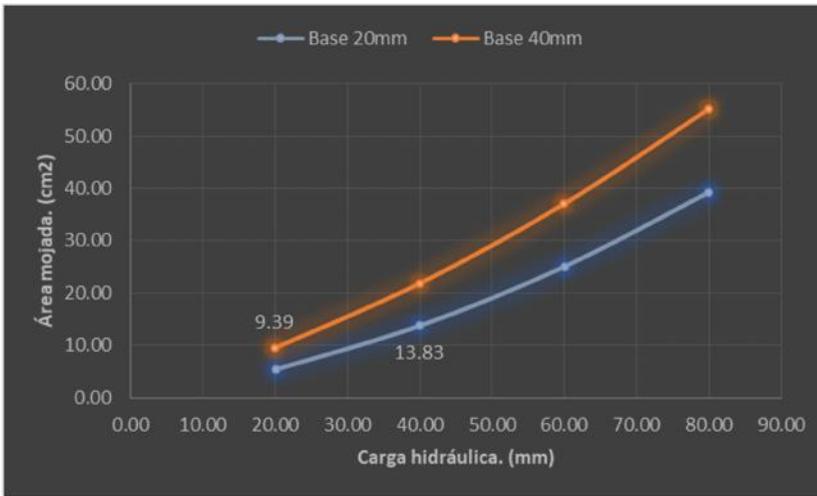
Gráfico 106.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

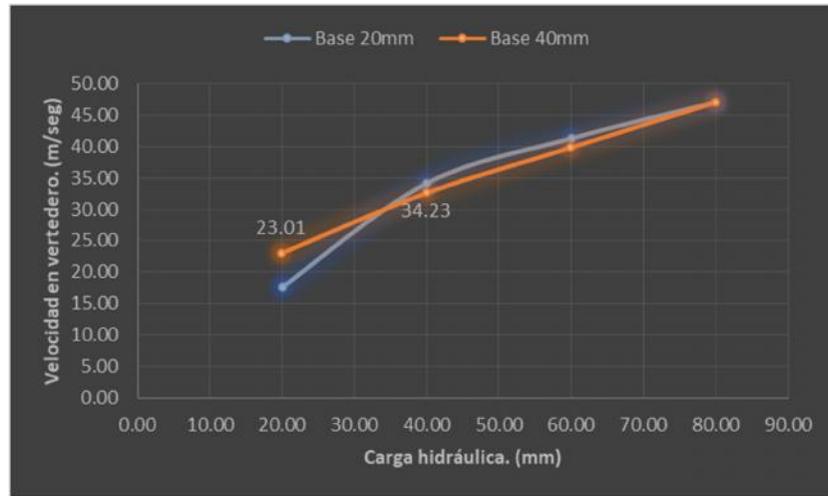
#### Explicación comparativa de las curvas 105 y 106.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.57
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 106 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 107.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 108.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 107 y 108.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 9.39 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 13.83 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 23.01 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 34.23m/seg.

### 3.1.5.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.

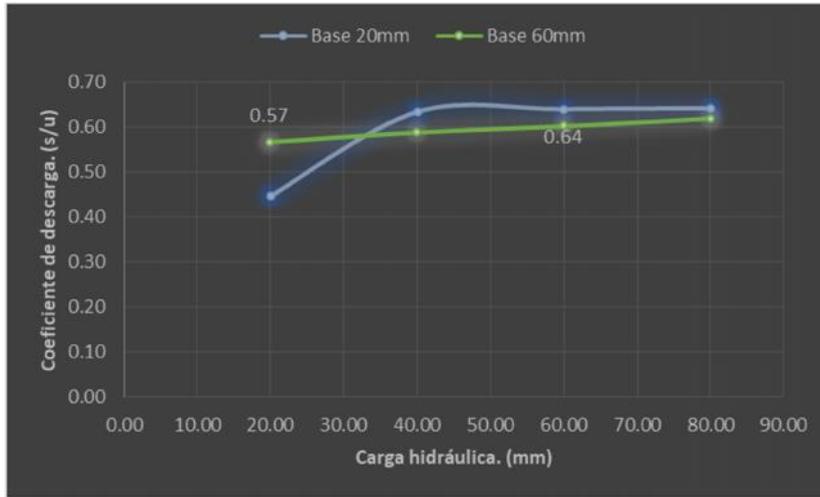


Gráfico 109.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

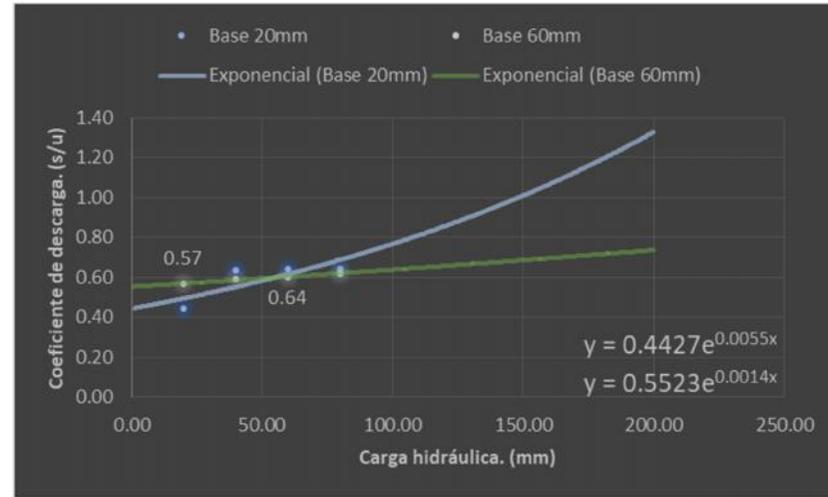


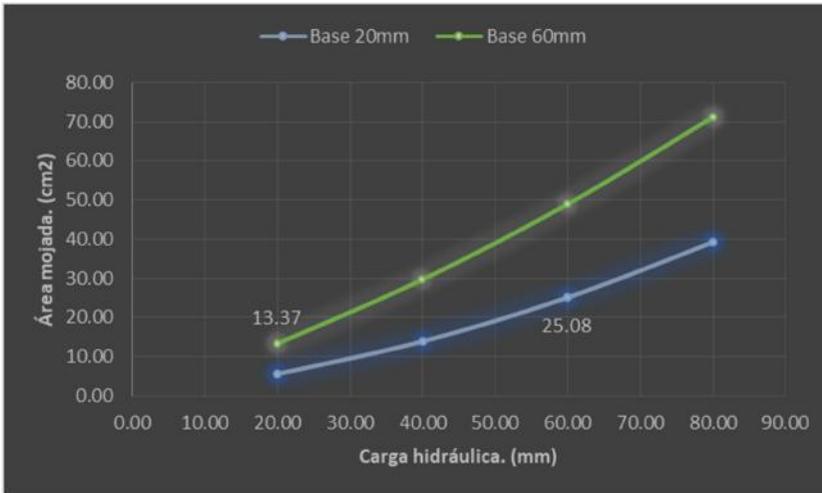
Gráfico 110.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

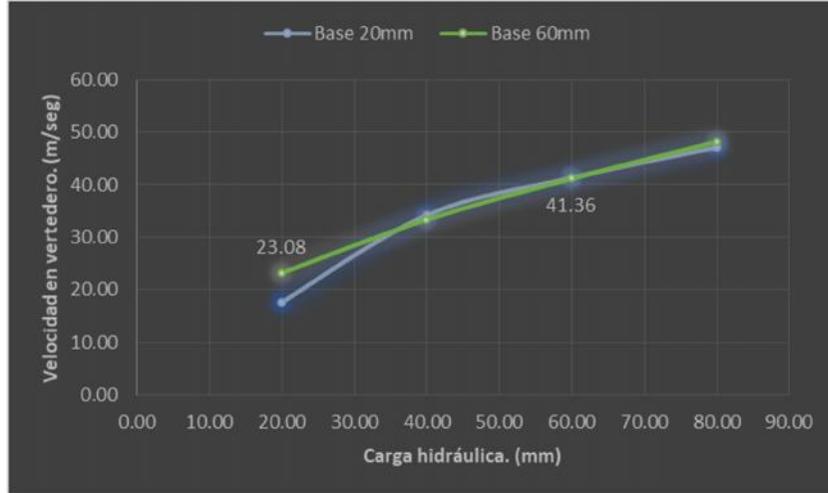
#### Explicación comparativa de las curvas 109 y 110.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.57
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 110 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 111.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 112.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 111 y 112.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 13.37 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 25.08 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 23.08 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 41.36 m/seg.

### 3.1.5.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

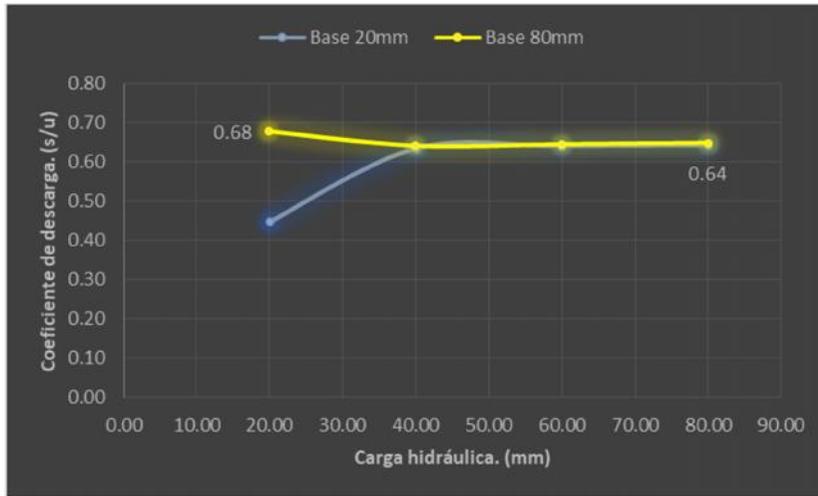


Gráfico 113.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

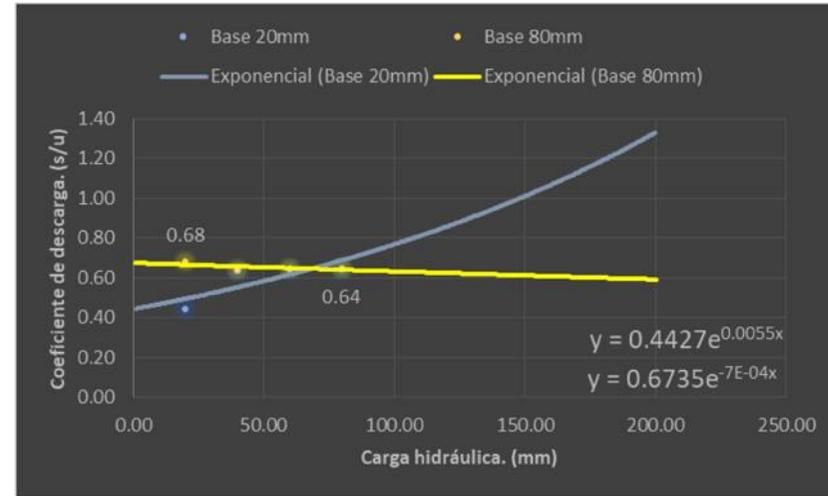


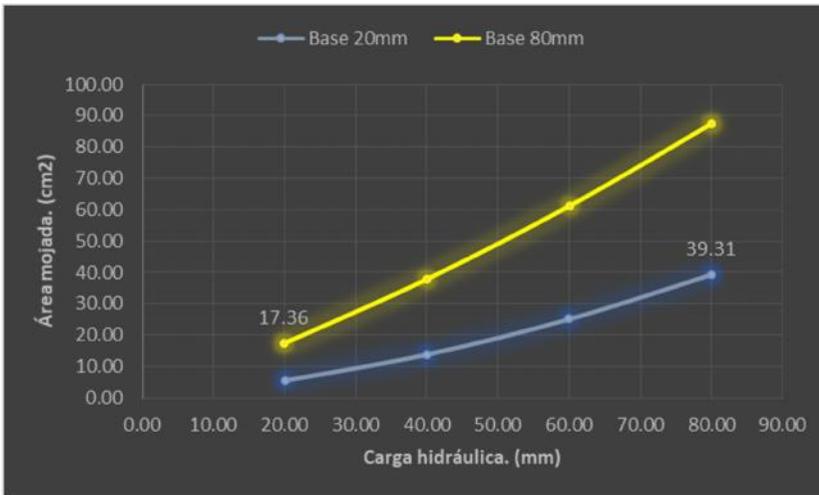
Gráfico 114.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 113 y 114.

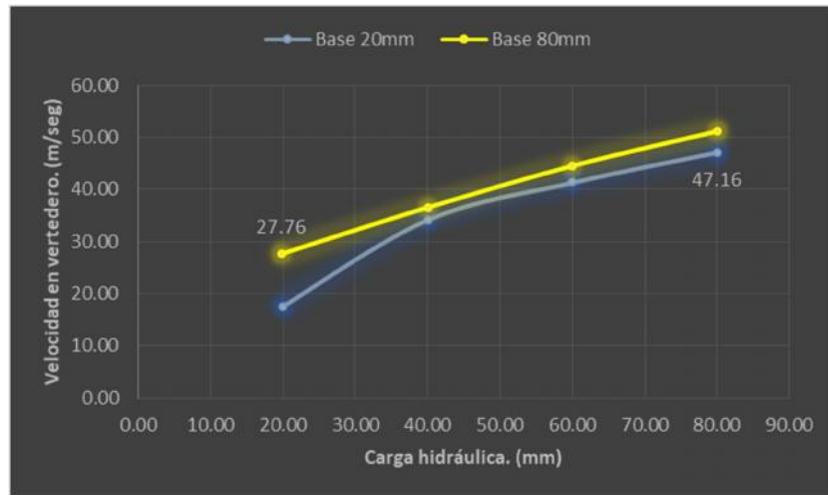
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.68
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.64
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 114 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 115.-** Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 116.-** Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 115 y 116.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 17.36 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 39.31 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 27.76 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 47.16 m/seg.

### 3.1.5.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.

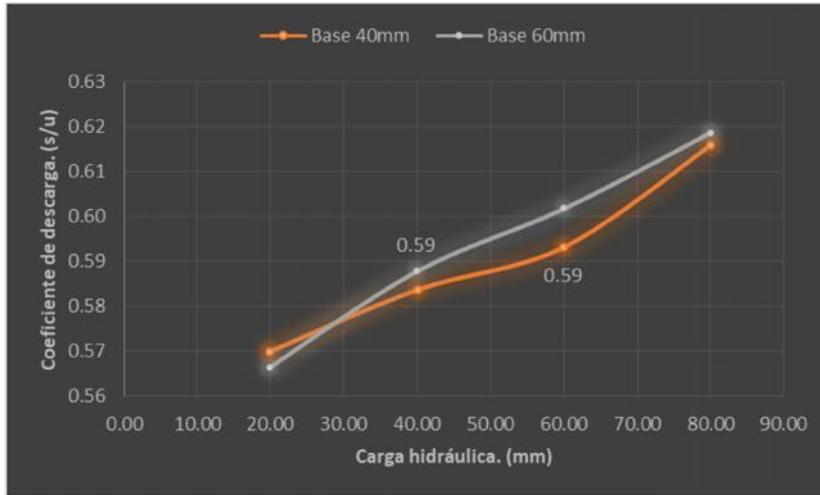


Gráfico 117.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

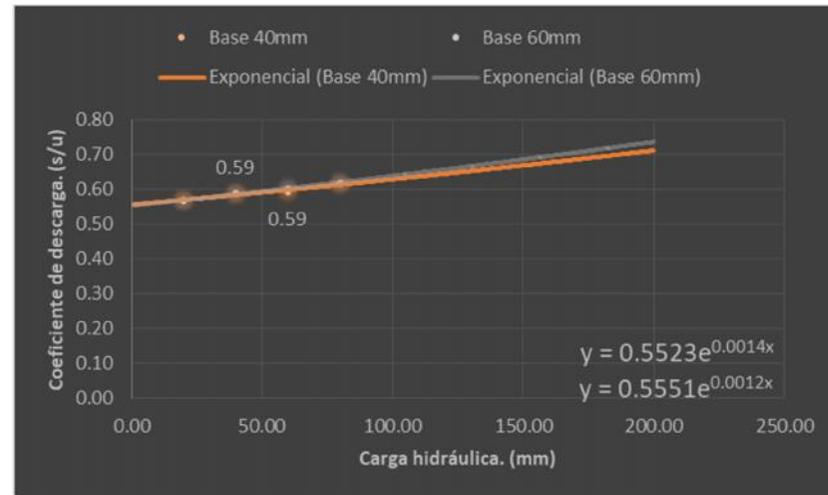


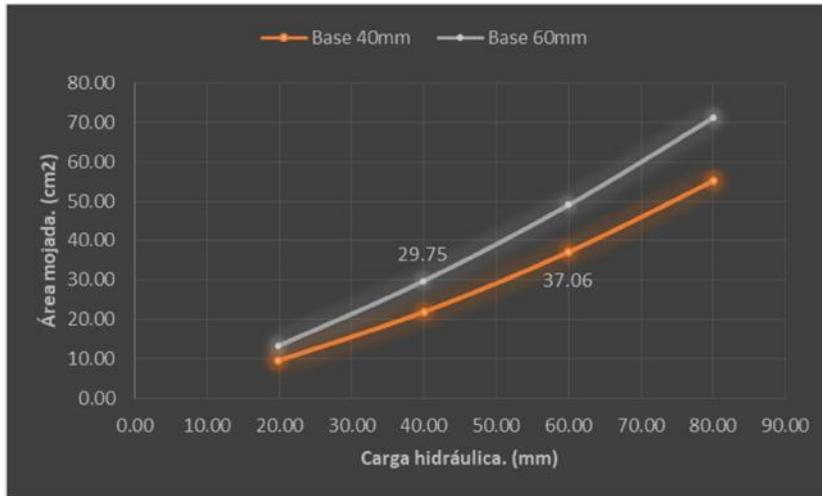
Gráfico 118.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

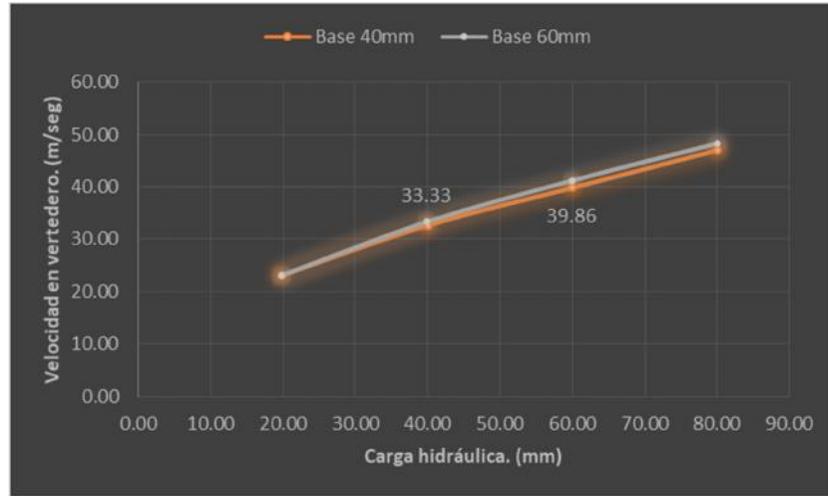
#### Explicación comparativa de las curvas 117 y 118.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.59
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.59
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan igual.
- En el gráfico de la curva 118 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 119.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 120.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 119 y 120.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 29.75 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 37.06 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 33.33 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 39.86 m/seg.

### 3.1.5.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

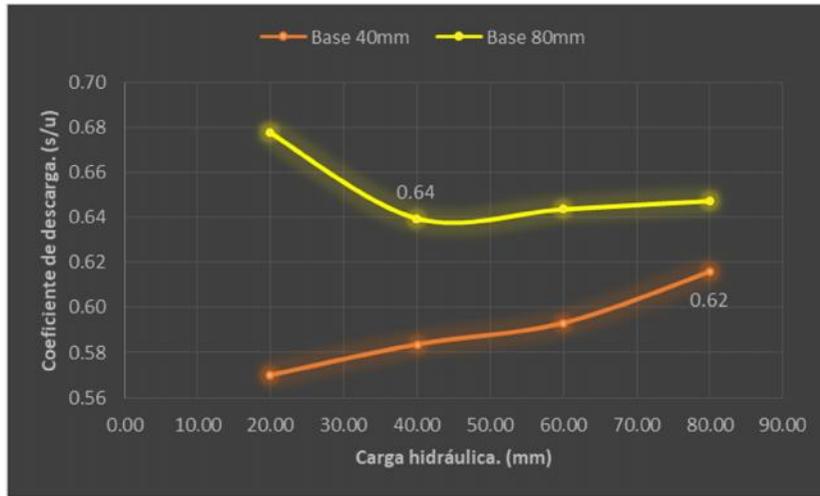


Gráfico 121.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

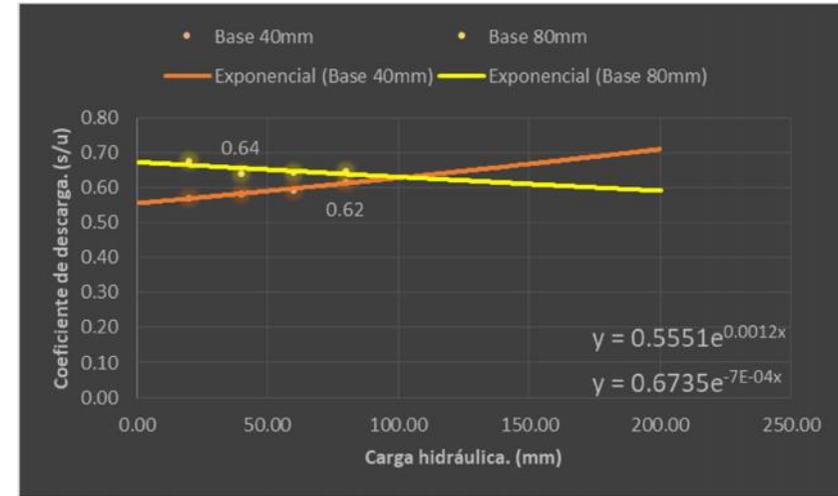


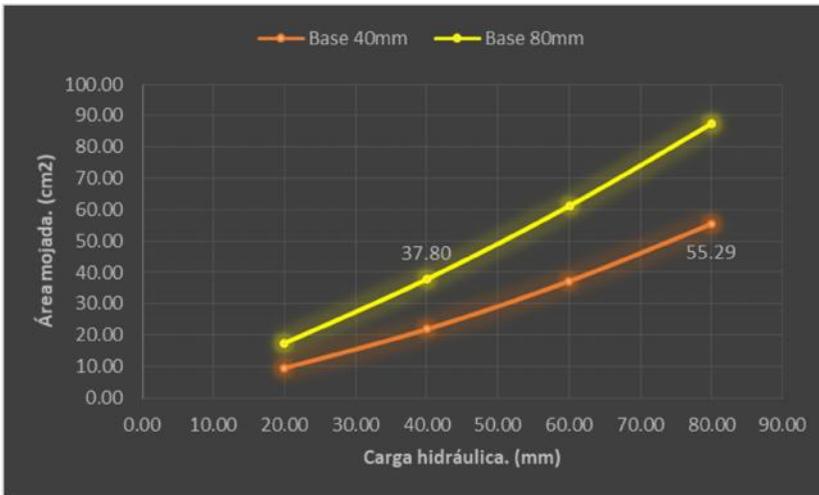
Gráfico 122.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

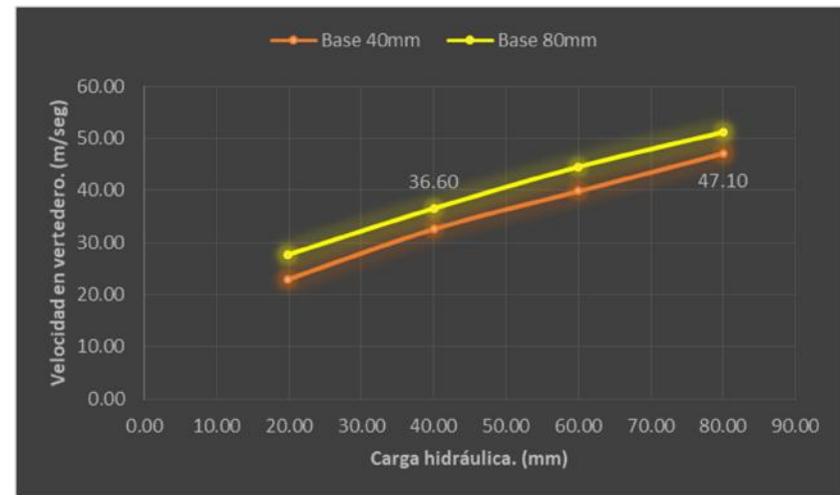
#### Explicación comparativa de las curvas 121 y 122.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.64
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 122 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 123.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 124.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 123 y 124.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 37.80 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 55.29 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 36.60 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 47.10 m/seg.

### 3.1.5.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

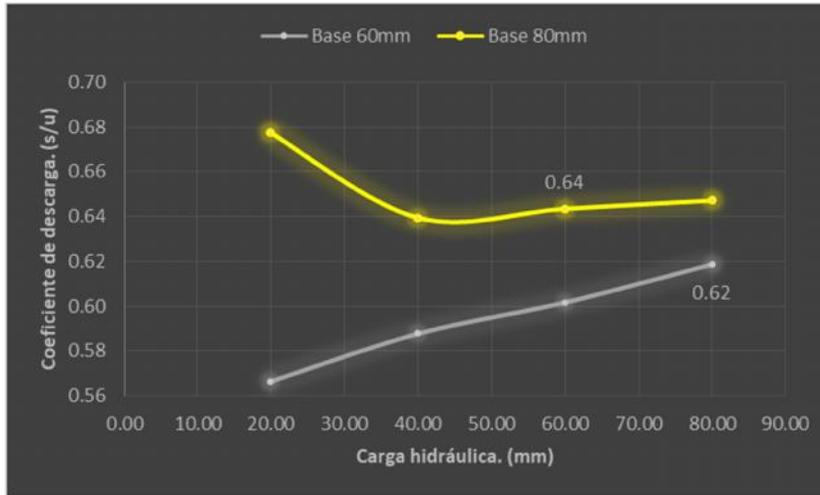


Gráfico 125.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

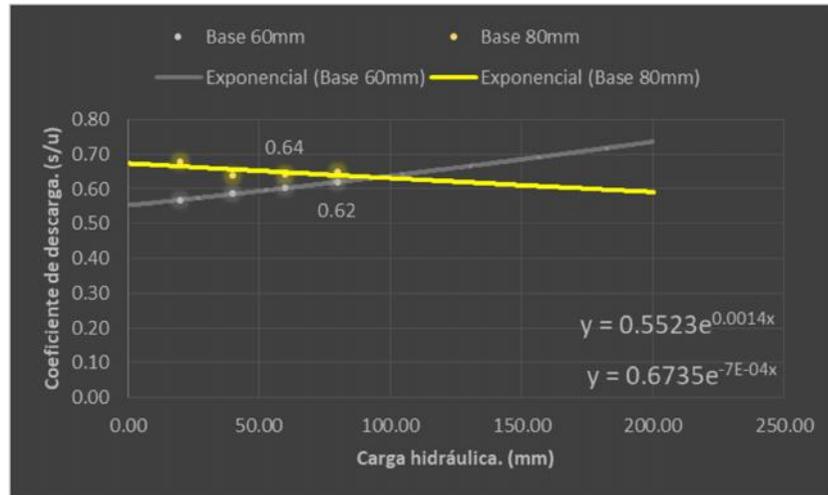


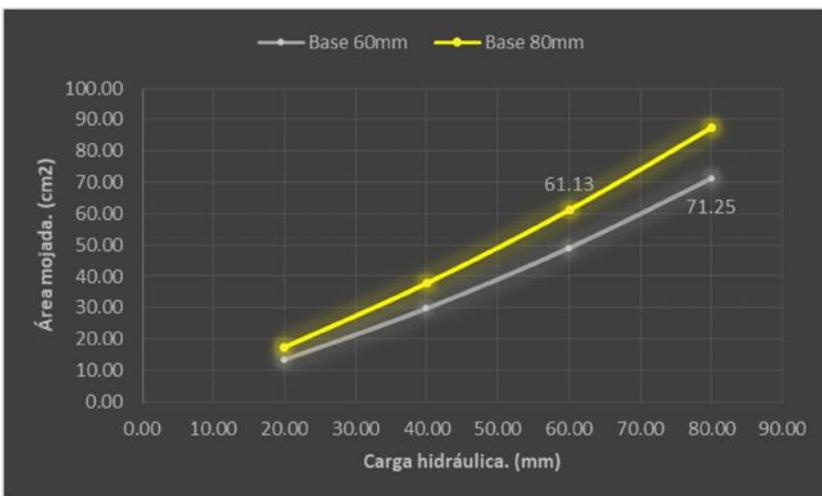
Gráfico 126.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

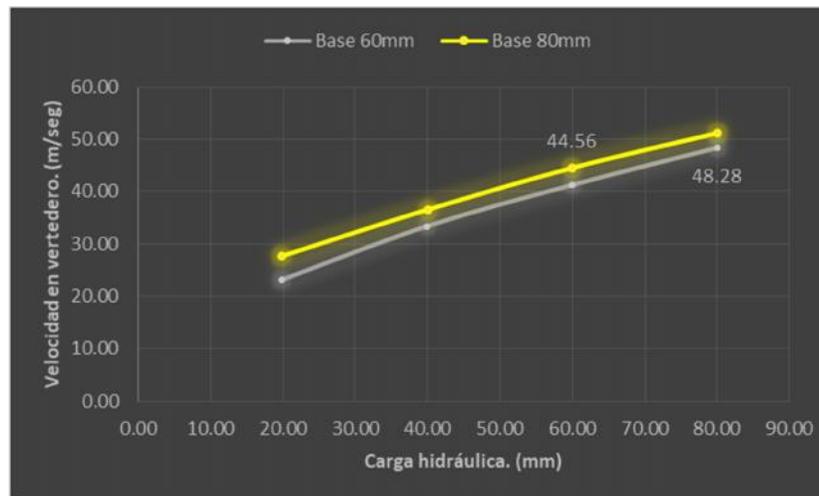
#### Explicación comparativa de las curvas 125 y 126.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.64
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 126 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 127.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



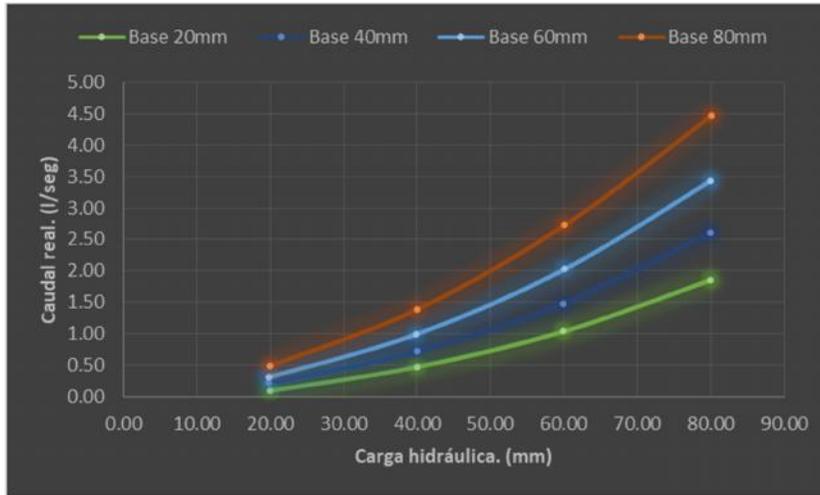
**Gráfico 128.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 127 y 128.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

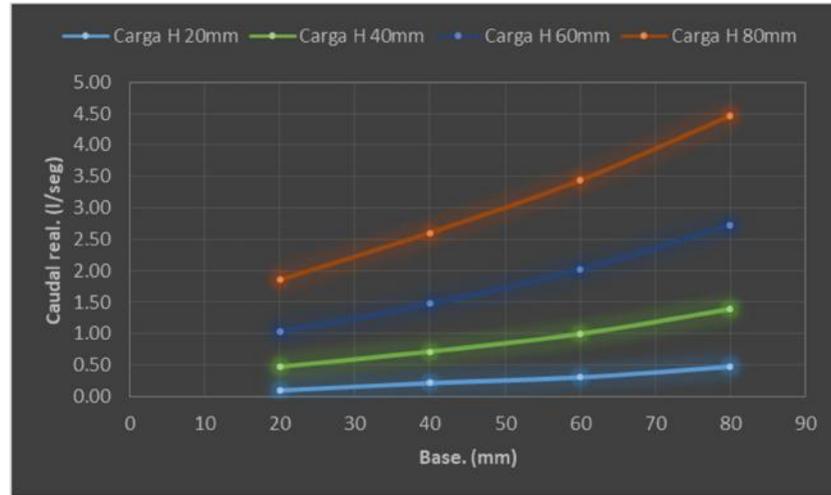
- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 61.13 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 71.25 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 44.56 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 48.28 m/seg.

### 3.1.5.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 20°.



**Gráfico 129.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 20°.**  
Carga hidráulica vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 130.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 20°.**  
Base vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 129 y 130.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

### 3.1.6. Ensayo de vertederos con ángulo de apertura de 15°.

#### 3.1.6.1. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 40mm.

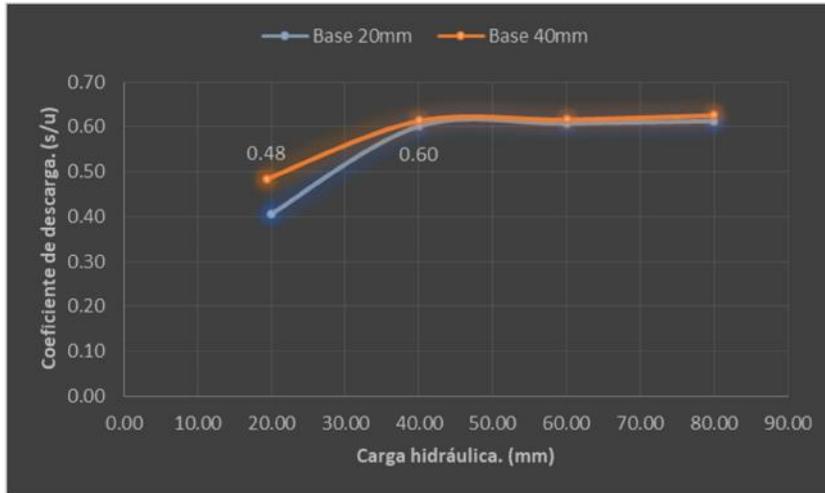


Gráfico 131.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

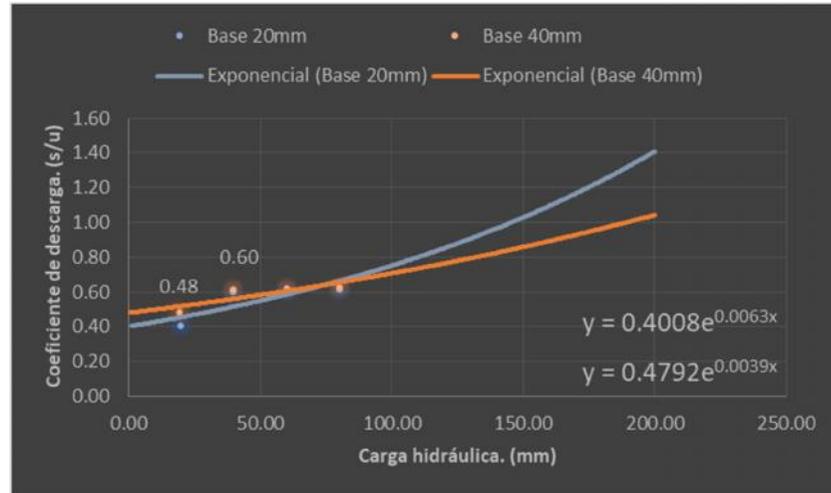


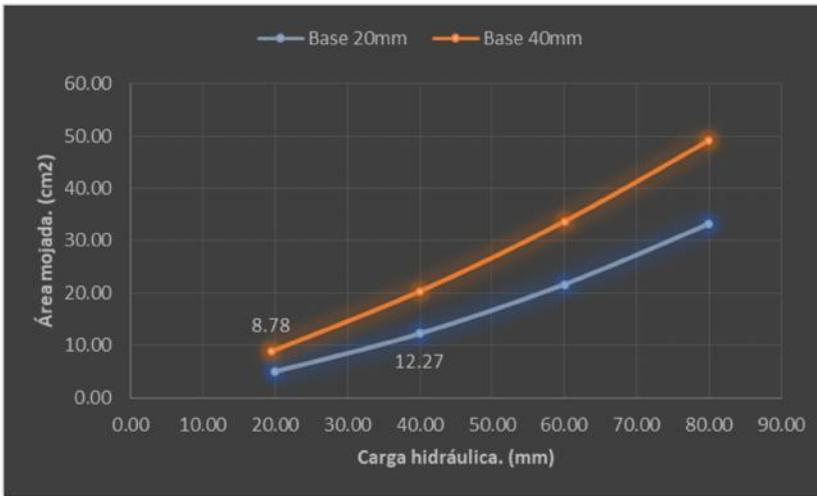
Gráfico 132.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 131 y 132.

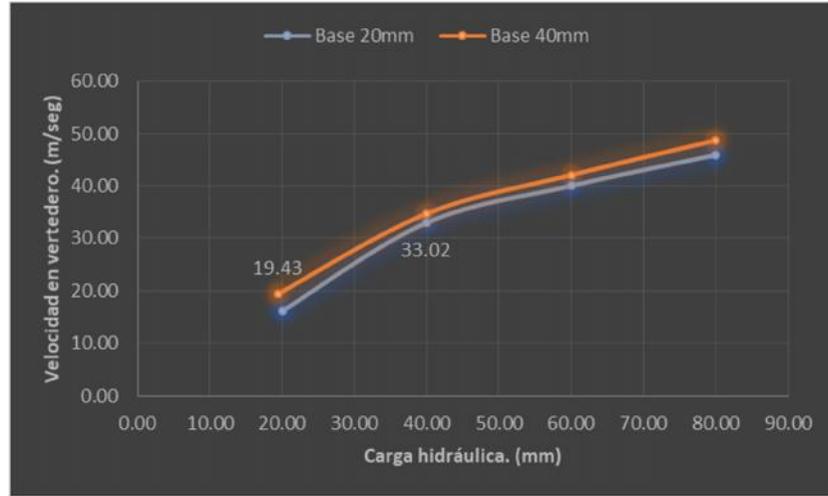
Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 40mm: 0.48
- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 20mm: 0.60
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 132 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 133.-** Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 134.-** Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 40mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### **Explicación comparativa de las curvas 133 y 134.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 40mm: 8.78 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 40mm vs 20mm: 12.27 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 40mm: 19.43 m/seg.
- Velocidad en la relación 40mm vs 20mm: 33.02 m/seg.

### 3.1.6.2. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 60mm.

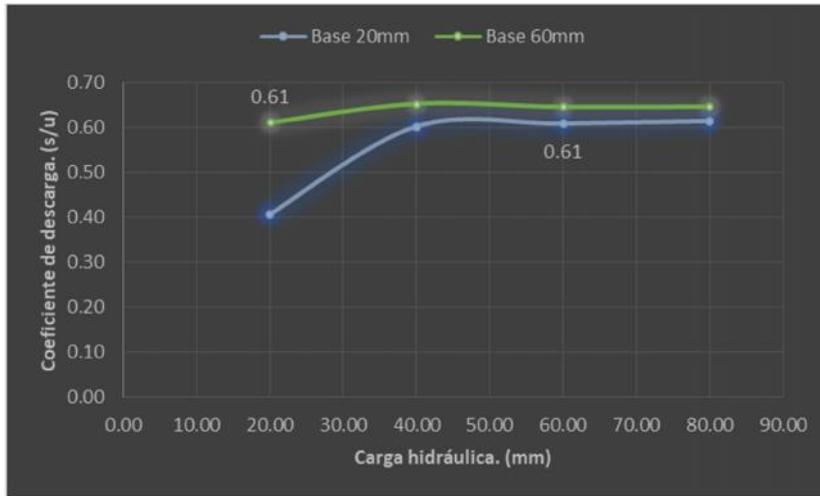


Gráfico 135.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

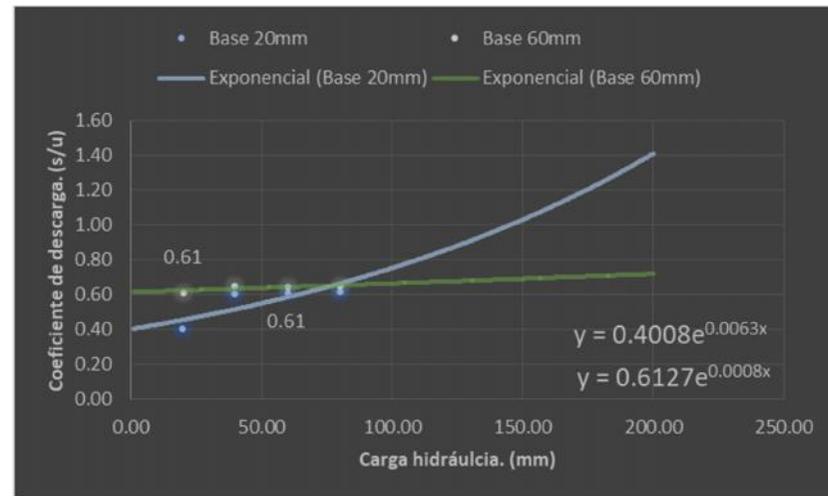


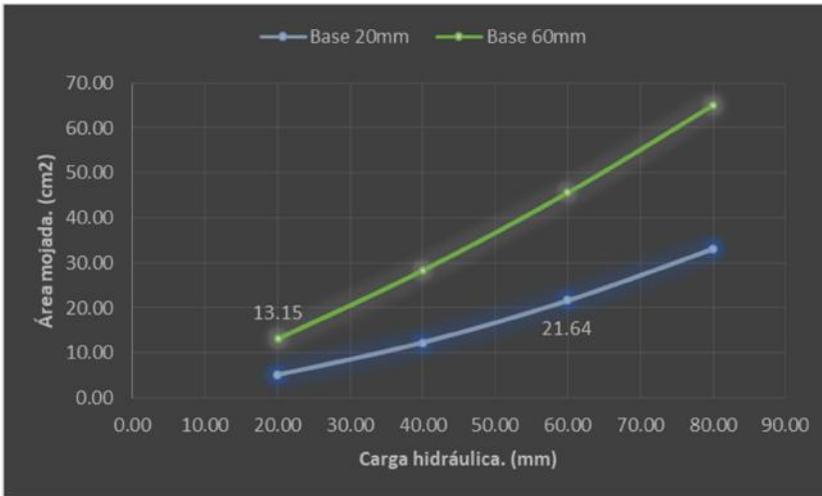
Gráfico 136.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

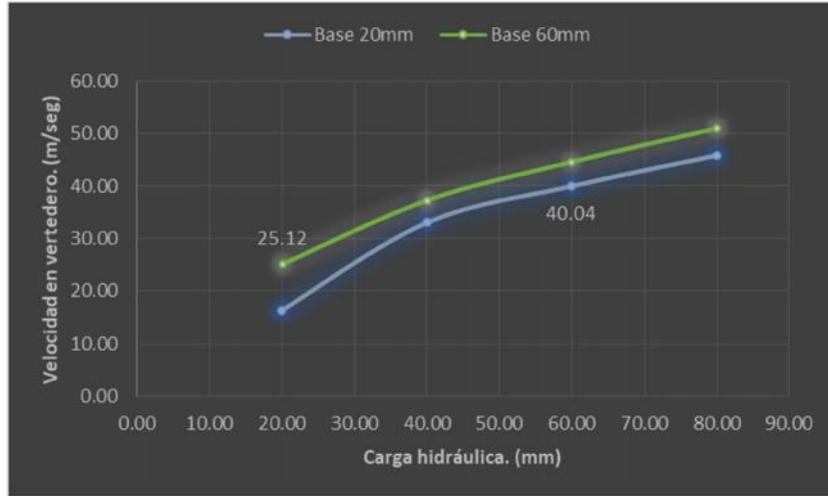
#### Explicación comparativa de las curvas 135 y 136.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 60mm: 0.61
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 20mm: 0.61
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan igual.
- En el gráfico de la curva 136 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 137.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 138.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### **Explicación comparativa de las curvas 137 y 138.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 60mm: 13.15 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 20mm: 21.64 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 20mm vs 60mm: 25.12 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 20mm: 40.04 m/seg.

### 3.1.6.3. Comparación de curvas para el caso 20mm vs 80mm.

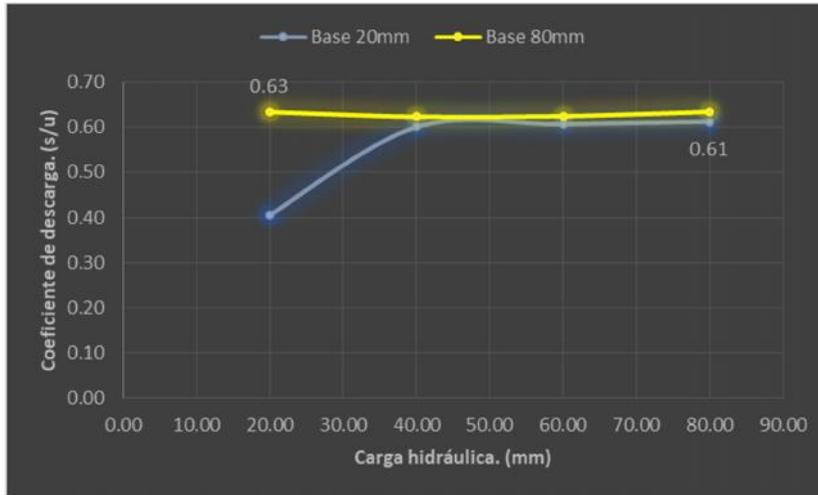


Gráfico 139.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

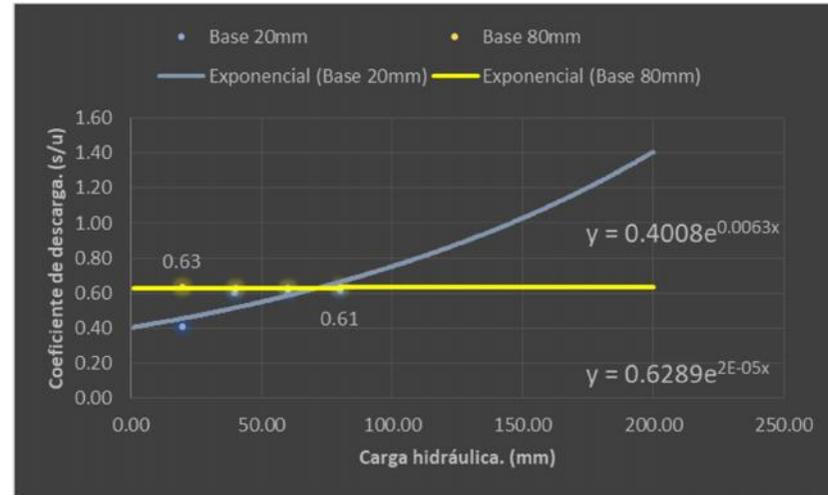


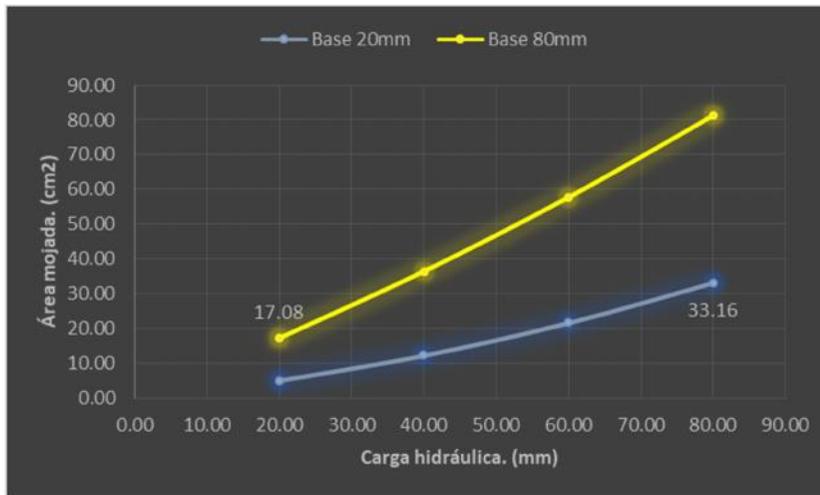
Gráfico 140.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 20mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

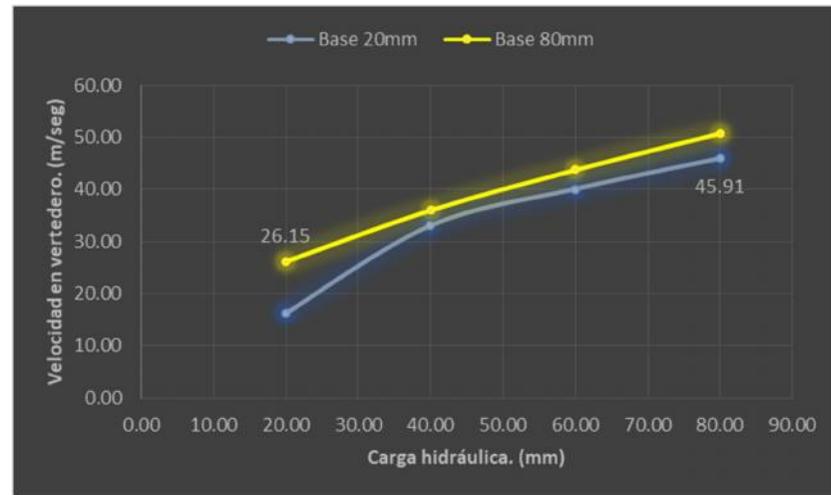
#### Explicación comparativa de las curvas 139 y 140.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 20mm vs 80mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 20mm: 0.61
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 140 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 141.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 20mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 142.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 20mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 141 y 142.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 20mm vs 80mm: 17.08 cm².
- Área mojada en la relación 80mm vs 20mm: 33.16 cm².
- Velocidad en la relación 20mm vs 80mm: 26.15 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 20mm: 45.91 m/seg.

### 3.1.6.4. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 60mm.

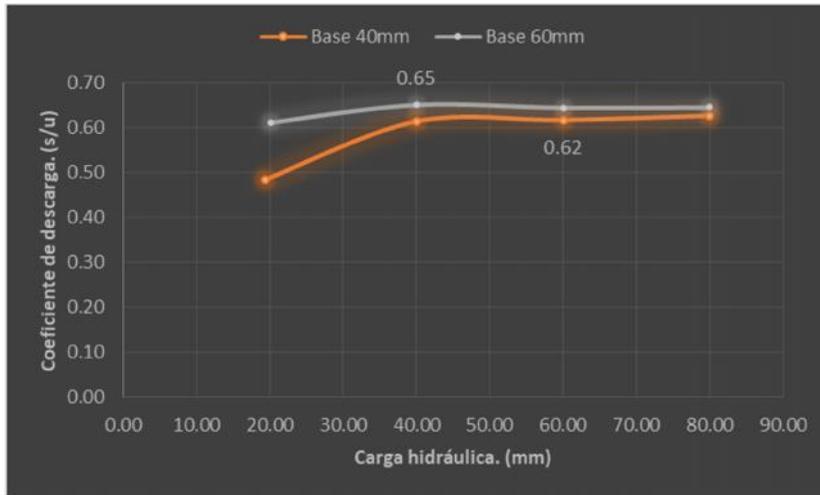


Gráfico 143.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

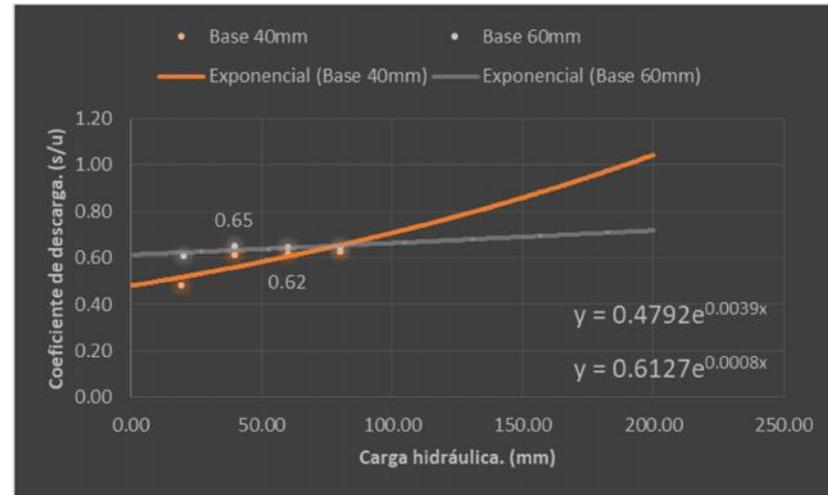


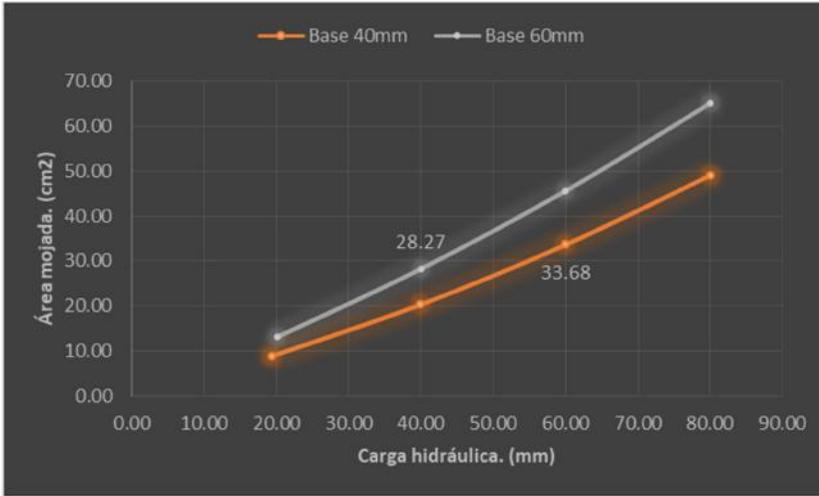
Gráfico 144.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 60mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

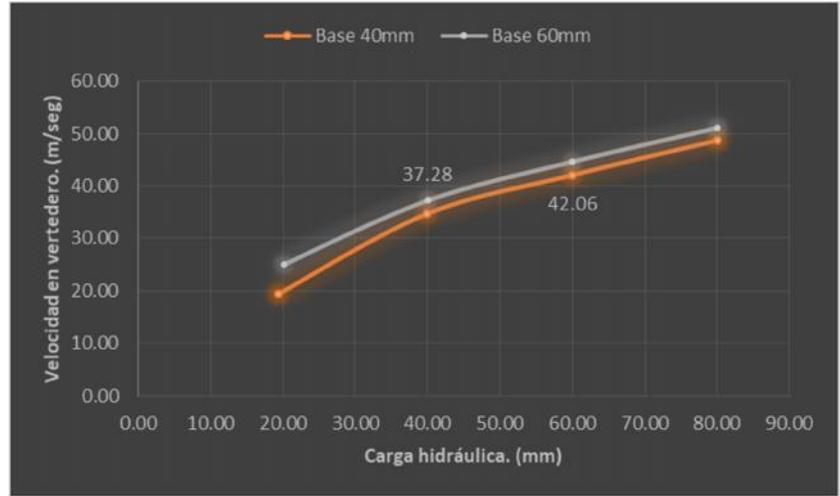
#### Explicación comparativa de las curvas 143 y 144.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 60mm: 0.65
- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 40mm: 0.62
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 144 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 145.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 146.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 60mm.**  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 145 y 146.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 60mm: 28.27 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 60mm vs 40mm: 33.68 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 60mm: 37.28 m/seg.
- Velocidad en la relación 60mm vs 40mm: 42.06 m/seg.

### 3.1.6.5. Comparación de curvas para el caso 40mm vs 80mm.

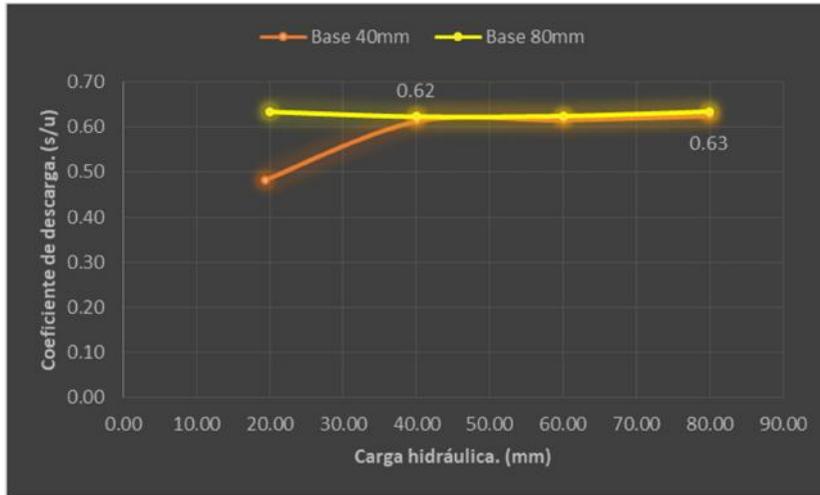


Gráfico 147.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

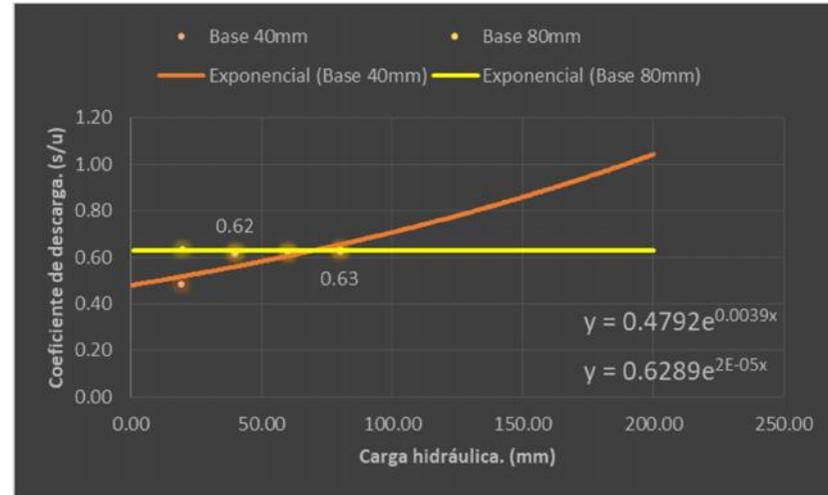


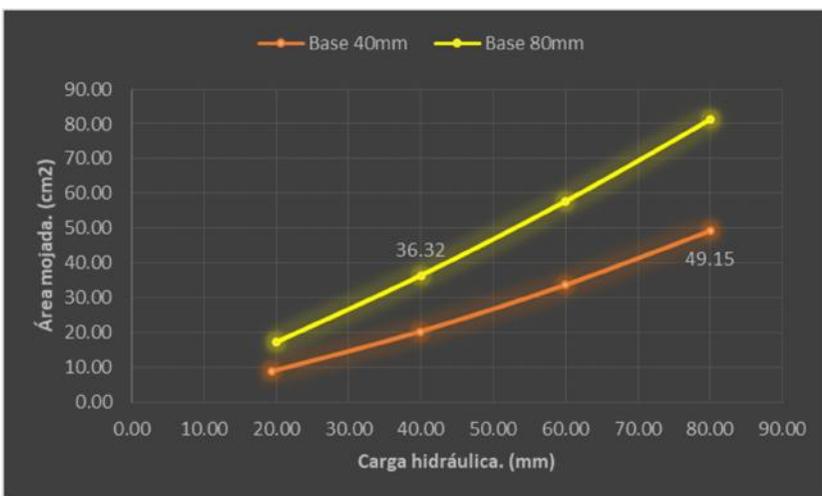
Gráfico 148.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 40mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

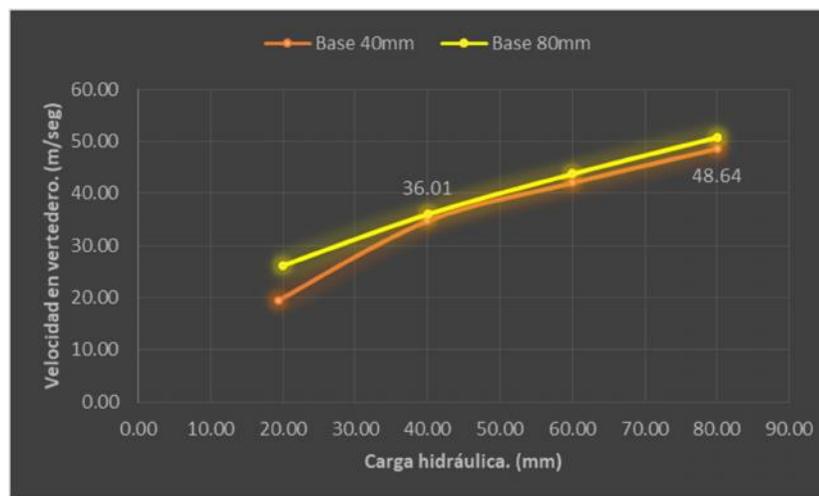
#### Explicación comparativa de las curvas 147 y 148.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 40mm vs 80mm: 0.62
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 40mm: 0.63
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 148 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 149.-** Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 40mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 150.-** Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 40mm vs 80mm.  
Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 149 y 150.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 40mm vs 80mm: 36.32 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 40mm: 49.15 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 40mm vs 80mm: 36.01 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 40mm: 48.64 m/seg.

### 3.1.6.6. Comparación de curvas para el caso 60mm vs 80mm.

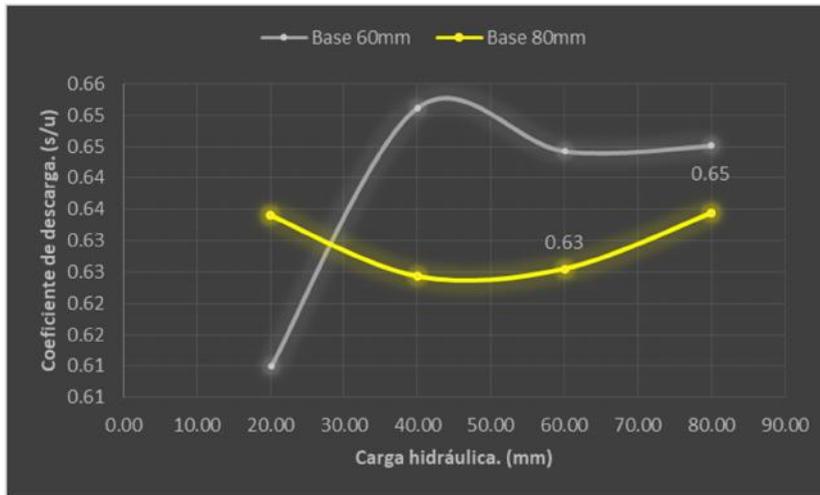


Gráfico 151.- Análisis comparativo, curvas de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

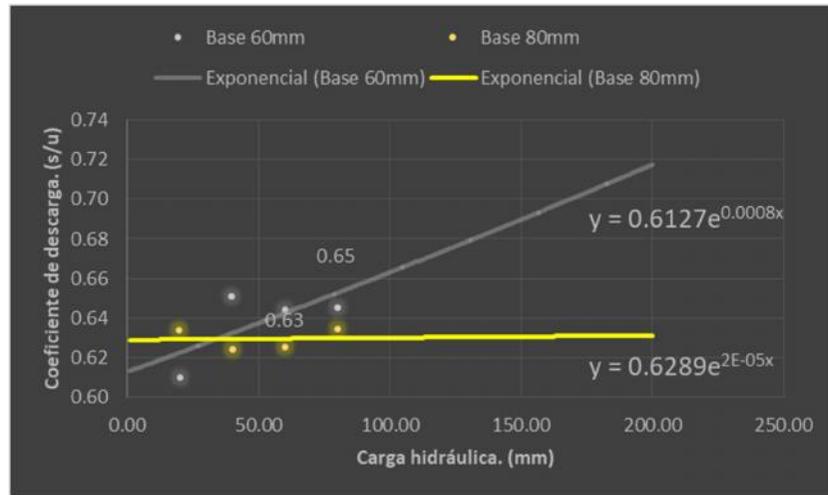


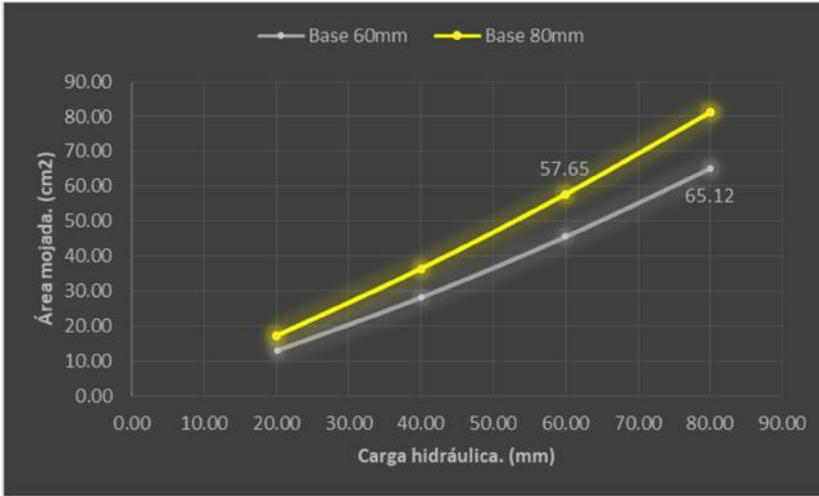
Gráfico 152.- Análisis comparativo proyectado, tendencia de descarga para la relación 60mm vs 80mm.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

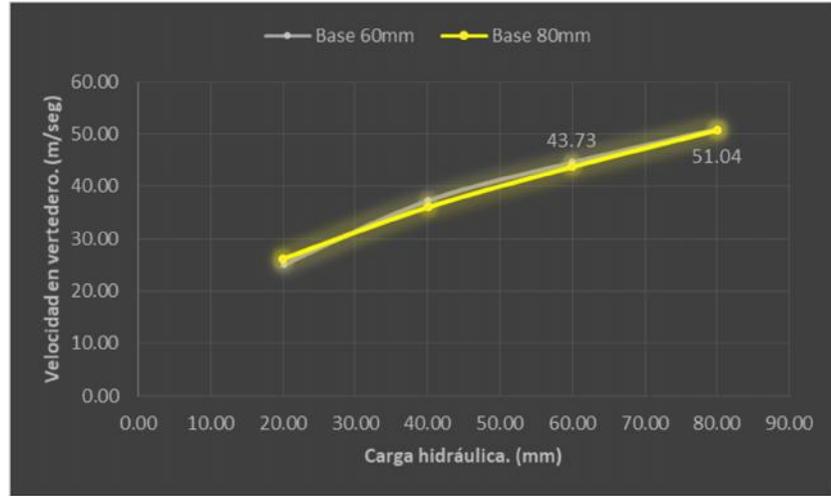
#### Explicación comparativa de las curvas 151 y 152.

Observando las curvas de descarga graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Coef. Descarga en la relación 60mm vs 80mm: 0.63
- Coef. Descarga en la relación 80mm vs 60mm: 0.65
- A pesar de que, la relación altura vs base es la misma, los coeficientes de descarga se comportan de manera diferente.
- En el gráfico de la curva 152 se muestran las curvas de descarga según su línea de tendencia del tipo exponencial.



**Gráfico 153.- Análisis comparativo, curvas de área mojada para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)



**Gráfico 154.- Análisis comparativo, curvas de velocidad para la relación 60mm vs 80mm.**  
 Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

**Explicación comparativa de las curvas 153 y 154.**

Observando las curvas de área mojada y velocidad, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Área mojada en la relación 60mm vs 80mm: 57.65 cm<sup>2</sup>.
- Área mojada en la relación 80mm vs 60mm: 65.12 cm<sup>2</sup>.
- Velocidad en la relación 60mm vs 80mm: 43.73 m/seg.
- Velocidad en la relación 80mm vs 60mm: 51.04 m/seg.

### 3.1.6.7. Análisis en curvas de descarga para el vertedero trapezoidal de apertura 15°.

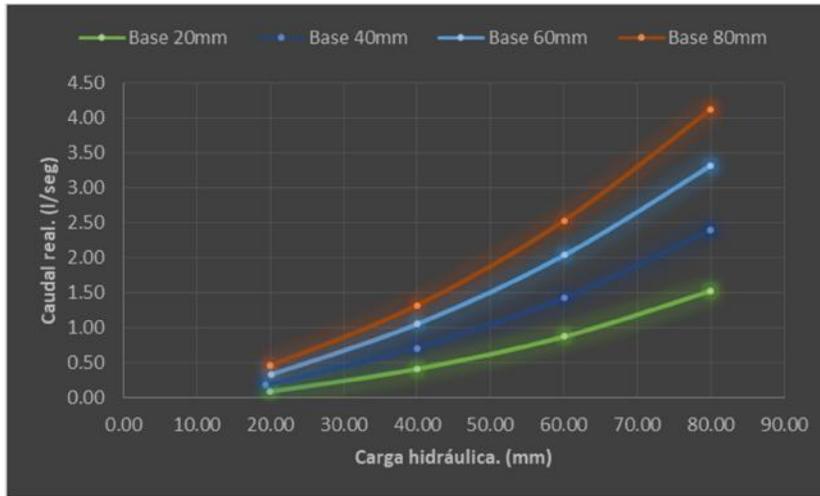


Gráfico 155.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 15°.

Carga hidráulica vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

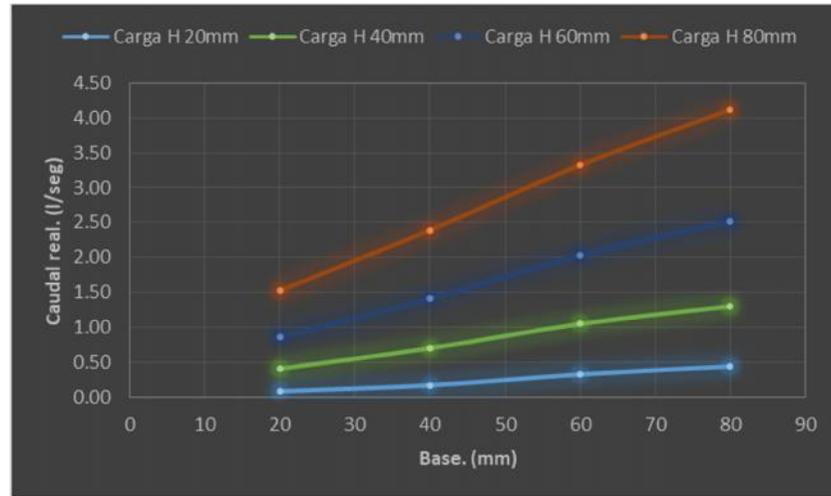


Gráfico 156.- Análisis comparativo, curvas de descarga hidráulica, resumen de la práctica para el ángulo 15°.

Base vs Caudal real.

Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)

#### Explicación comparativa de las curvas 155 y 156.

Exponiendo las curvas de descargas de cada vertedero, graficadas desde los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, podemos decir que:

- Si la descarga hidráulica está en función de la carga hidráulica, las curvas tendrán tendencia exponencial.
- Si la descarga hidráulica está en función del ancho de base, las curvas tendrán tendencia lineal.

## **4. CAPITULO IV**

### **DISEÑO DE LA PROPUESTA**

#### **4.1. Alternativa obtenida.**

Actualmente en el Ecuador el campo de ingeniería hidráulica experimental es un campo poco investigado por las diversas universidades del país, lo que ha generado un problema en el ámbito estudiantil y laboral, por lo cual ésta área ingenieril hidráulica experimental poco se incluye en los pensums académicos, debido a esto se ha realizado este proyecto de investigación siendo impulsado a partir del querer promover y motivar a los futuros estudiantes de Ingeniería demostrándolo mediante esta propuesta de titulación, los conocimientos alcanzados por medio de los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio implementando un sistema de automatización, indicando lo sencillo que puede ser la ejecución, proceso y análisis de variables.

Con la finalidad de mejorar la optimización de toma de datos y análisis de resultados, se ha creado el sistema de automatización y control de flujos “HYDROTECH” para motivar y aliviar los procesos que la práctica implica, manteniendo y/o mejorando los resultados dentro de un margen de error mínimo ya que todo es monitoreado electrónicamente mediante el hardware de código abierto Arduino.

Es por esta razón que la alternativa de solución propuesta es elaborar un análisis comparativo de coeficientes de descarga hidráulica utilizando el sistema electrónico “HYDROTECH”, la cual tiene como fin brindar una herramienta de apoyo en el estudio hidráulico de canales, sirviendo de base investigativa para estudiantes, docentes y profesionales de las diversas carreras que comprenden el campo de la ingeniería hidráulica.

#### **4.2. Alcance de la propuesta.**

El alcance derivado de la propuesta está definido por las limitantes físicas que se encontraron al momento de realizar el diseño de los distintos vertederos hidráulicos, ya que al contar con un reducido ancho de canal, los ángulos de apertura no podrían ser mayores. Por lo

tanto, el alcance se resume en que los coeficientes de descarga obtenidos mediante las prácticas de laboratorio quedarían reflejados para vertederos trapezoidales de pared delgada, cuyos ángulos de apertura geométrica varía de entre los 15° hasta los 40°.

La ingeniería hidráulica, al ser un campo del cual no existe mucha información práctica – teórica y, mediante el presente proyecto de titulación, se plantea brindar los datos investigativos para que sean de uso a los sectores interesados en la rama, por ejemplo: agrícolas, ingenieriles, estudiantiles, etc. Ya que, basados en el hecho anteriormente mencionado, se busca impulsar a los alumnos que estudian la mecánica de fluidos a continuar practicando y elaborando informes para que se logre brindar un importante aporte a la comunidad científica.

#### 4.3. Resultados.

En los diferentes grupos, formados por cada una de las diferentes aperturas geométricas del vertedero trapezoidal de pared delgada, podemos observar que al comparar los diferentes coeficientes de descargas, estos tienen una diferencia máxima de 0.12 unidades, la cual se manifiesta en el grupo 15° en la relación base/altura 20vs40, asimismo se deberá recalcar que la mínima diferencia entre los distintos análisis se dio en la similitud de los ya mencionados coeficientes, dando como resultado el siguiente gráfico.



**Gráfico 157.- Comparación entre coeficientes de descarga hidráulica.**

**Elaborado por: Torres Albán, Jorman (2018)**

Explicando la tabla anterior, se debe señalar que el 86.11% que corresponden a 31 de las 36 comparaciones realizadas a los coeficientes de descarga, evidencian diferencias entre ellos, en cambio el 13.89% correspondiendo a 5 de las 36 antes mencionadas, demuestran un resultado opuesto.

Para la generación de las curvas de descarga hidráulica, se experimentó realizando comparaciones a las variables, siendo estas planteadas de dos formas diferentes para cada ángulo específico:

- Carga sobre el vertedero (Cota hidráulica) Vs Caudal Real.
- Base (Ancho de base) Vs Caudal Real.

De acuerdo a lo proyectado en las curvas de descargas mostradas anteriormente, podemos apreciar que las similitudes en cuestión al comportamiento entre ellas son notables en los diferentes ángulos, esto se debe a que, sin importar cuál sea el caudal a descargar, siempre va a predominar la variable geométrica que genere menor pérdidas, siendo esto demostrado mediante la curva exponencial que se genera al colocar como ordenada al ancho del canal en comparación a la curva lineal que se forma al colocar la variable de cota hidráulica como ordenada en la gráfica.

#### 4.4. Conclusiones.

- Se diseñaron 24 diferentes vertederos trapezoidales de pared delgada, con el fin de ejecutar pruebas de laboratorio con 4 diferentes calados en cada uno de ellos, en los cuales se observan los diferentes comportamientos hidráulicos al momento de comparar los coeficientes de descarga para todos los casos.
- Las curvas graficadas en tendencia de todos los coeficientes de descarga hidráulica tienen directriz positiva, es decir, que éstas aumentan o disminuyen en función de las distintas variables hidráulicas a ejecutar en laboratorio.
- Las curvas “área mojada” y “velocidad” obtenidas en las prácticas de laboratorio, muestran un patrón bastante simétrico en cada uno de los análisis realizados, lo que significa, que éstos parámetros están en función del diseño geométrico del vertedero trapezoidal de pared delgada.
- El sistema electromecánico “Hydrotech” empleado para la ejecución de las prácticas de laboratorio, demostró que, al momento de automatizar un canal para realizar estudios hidráulicos, de éste se obtienen datos con mayor precisión, por lo tanto el margen de error disminuye.
- El comportamiento de las curvas de descarga demuestran que, a mayor ancho de base geométrica del vertedero trapezoidal de pared delgada, mayor será el caudal de flujo, esto quiere decir que para generar el mayor caudal posible, la variable predominante será la que ocasione menor pérdida por fricción.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, el 86.11% de los coeficientes de descarga hidráulica obtenidos en laboratorio tienen un comportamiento diferente con respecto al 13.89% de los mismos, esto sin importar que la relación geométrica altura/base ( $h/b$ ) se mantenga constante, por lo consiguiente concluyo que; dicha relación no está en función de los coeficientes de descarga hidráulica.

#### **4.5. Recomendaciones.**

- Es necesario que se realicen más pruebas con ángulos diferentes para definir totalmente las conclusiones anteriormente planteadas.
- Calibrar los equipos a utilizar antes de realizar las prácticas de laboratorio.
- Verificar que no existan fugas en ningún punto del canal hidráulico.
- Al momento de realizar la práctica de laboratorio, es importante que bajo ningún concepto los practicantes se apoyen, muevan o sacudan el canal hidráulico, ya que alterarían los resultados.
- Agrandar o mejorar el sistema hidráulico del canal, ya sea en la infraestructura del mismo, agrandando más el ancho de base, para poder así experimentar con ángulos más grandes con el objetivo de obtener mayores resultados.
- Continuar investigando los distintos comportamientos de los coeficientes de descarga hidráulica y realizar comparaciones para varios tipos de vertederos, variando las dimensiones geométricas, caudales, temperaturas y calados.
- El manejo de la válvula de apertura es un parámetro muy importante que se debe tener en consideración, ya que éste es quien controla el caudal que va a circular dentro del canal hidráulico, y de éste dependerá el control de la cota hidráulica que será aplicada sobre el vertedero.
- Mantener en excelentes condiciones a los equipos mecánicos del canal hidráulico, realizar el mantenimiento respectivo para evitar así pérdidas.

## Referencias Bibliográficas.

- Aguilera, R. D. (2015). *Diseño De Un Banco De Pruebas Para Bombas Hidráulicas De Alto Caudal Y Presión*. Guadalajara: Univ. De San Carlos De Guatemala.
- Andrade, V. A. (2013). *Comportamiento Del Resalto Hidráulico En Canales Con Pendiente y Sección Rectangular*. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia.
- Benito Segura, O. (2015). *Ingeniería Hidráulica romano: análisis de técnicas*. Valencia: Univ. Polit. Valencia.
- Bergadá Graño, J. M. (2011). *Mecánica de fluidos. Problemas resueltos*. Barcelona: Service Point.
- Cengel, Y. A. (2010). *Fluid Mechanics*. EEUU: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. Mc Graw Hill.
- D Addario, M. (2017). *Manual de Hidraulica: Fundamentos, Aplicaciones y Ejercicios*. España: CreateSpace.
- De la Heras, S. (2012). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: Service Point.
- De, D. D. (s.f.).
- Díez, P. F. (2007). *Centrales Térmicas*. España: Aguilar.
- Elberdin, K. L. (2012). *Ingenios Hidráulicos En Eibar*. Eibar: Edizio Paratzailea.
- G.U.N.T. (15 de 03 de 2018). *www.gunt.de*. Obtenido de [www.gunt.de](http://www.gunt.de)
- Gencel, Z. (2016). *Obras Hidraulicas: Causas de deficiente funcionamiento y/o colapso la realidad del Perú*. Piura: Ril Editores.
- Giles, R. (2013). *Mecánica de fluidos e hidráulica*. España: Aguilera.

- Mott, R. L. (2016). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Argentina: Zabaleta.
- Rodríguez Castro, J. A. (2014). *Apuntes de Hidráulica básica*. México: Univ. Michoacan.
- Rodriguez, J. (2015). Estructuras hidráulicas, apuntes de clase FIIC ULVR.
- SIECA. (2016). *Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en centroamérica*. El Salvador: DACGER.
- Streeter L., V., & Wyke, B. (s.f.). *Mecánica de los fluidos. 9a ed.* México: Mc Graw-Hill.
- Toral, S. E. (2013). *Comportamiento Hidráulico de aliviaderos escalonados sin cajeros laterales en presas de HCR*. Barcelona: Flumen.

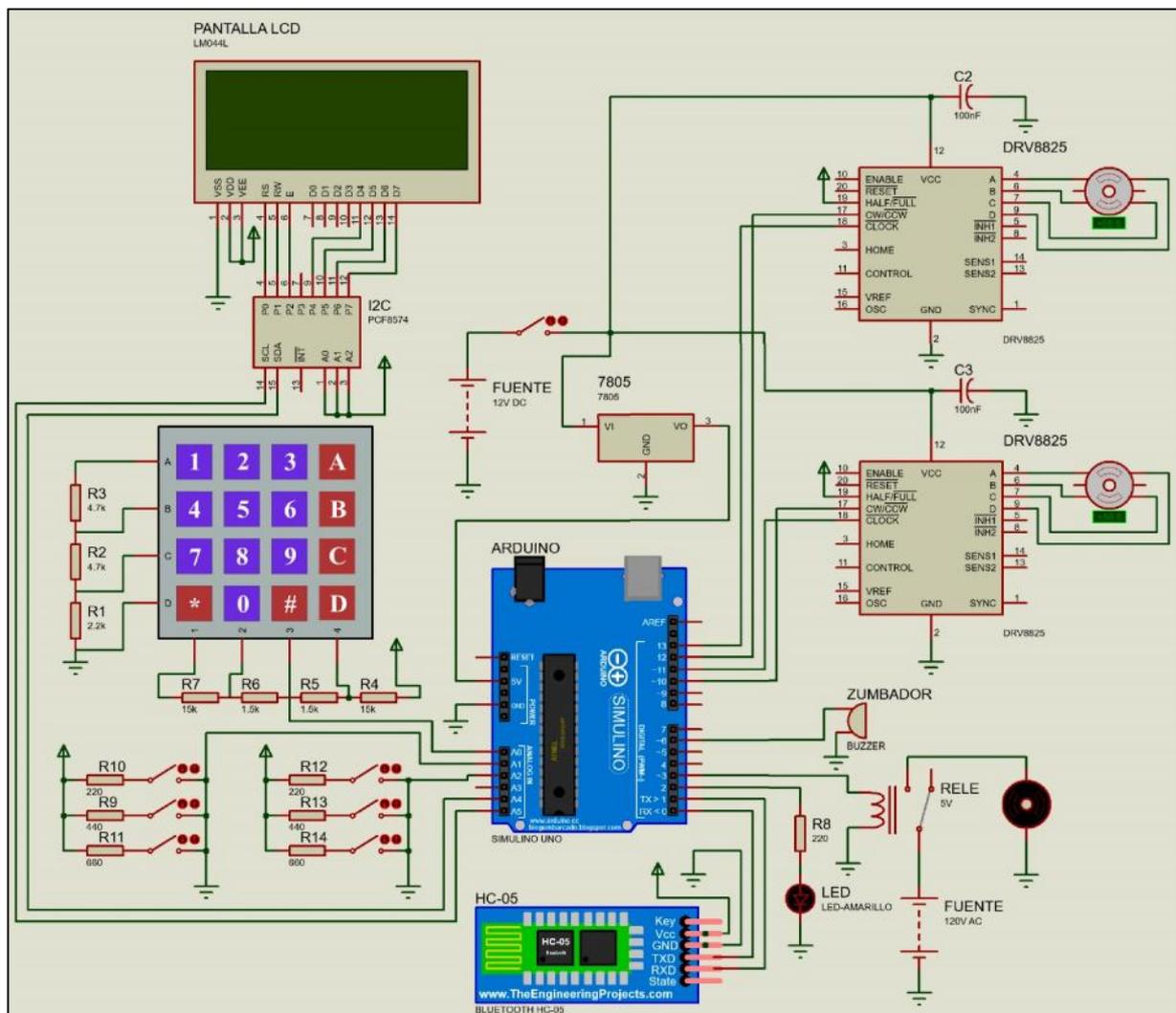
## 5. ANEXOS

Anexo 1: Hipervínculo que contiene el programa HIDROTECH en lenguaje C++ con el código de programación instalado en la plataforma ARDUINO.

<https://docs.google.com/document/d/1k->

[x2c7e47cW4DZn90bpiUzfptgmIDeBaSeI8O0LnSr0/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/1k-x2c7e47cW4DZn90bpiUzfptgmIDeBaSeI8O0LnSr0/edit?usp=sharing)

Anexo 2: Plano electrónico del sistema HIDROTECH.



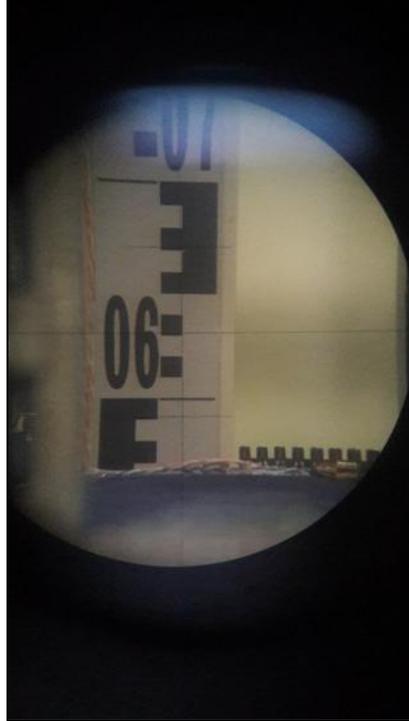
**Anexo 3: Canal hidráulico de la Universidad laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.**



**Anexo 4: Instalación de sensores del sistema HIDROTECH.**



**Anexo 5: Nivelación y calibración del canal hidráulico.**



**Anexo 6: Prueba de calibración de los sensores del sistema HYDROTECH.**



**Anexo 7: Resultados de prueba de calibración del sistema HYDROTECH.**



**Anexo 8: Ejecución de prácticas de laboratorio.**



**Anexo 9: Hardware del sistema HYDROTECH.**

